

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Fakulta materiálově-technologická**

**Katedra materiálů a technologií pro automobily**

**Měření natočení volantu**

**Steering wheel measurement**

**Bakalářská práce**

**Autor práce:**

**Daniel Szczepanik**

**Vedoucí práce:**

**Ing. Martin Juránek Ph.D.**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta materiálově-technologická  
Katedra materiálů a technologií pro automobily

## Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Szczepanik**  
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství  
Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl  
Téma: **Měření natočení volantu**  
**Steering wheel measurement**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s fyzikálními principy snímačů pro měření rotačního pohybu a zhodnoťte možnosti jejich použití pro měření natočení volantu na vozidle
2. Seznamte se s snímači natočení volantu, které jsou běžně využívány v sériových vozidlech, zhodnoťte jejich použití v prototypových vozidlech
3. Proveďte testovací měření na vybraných snímačích rotačního pohybu
4. Navrhněte univerzální řešení pro měření natočení volantu použitelného na prototypová vozidla

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] HRUŠKA, F. 2002. Technické prostředky automatizace III (Senzory, jejich principy a funkce). 1. vydání. Zlín: Vydavatelství UTB, 2002. 118 s. ISBN 80-7318-053-7.  
[2] ĎAĎO, S. – KREIDL, M. 1996. Senzory a měřicí obvody. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 315 s. ISBN 80-01-02057-6.  
[3] Rotační enkodéry pro řízení pohonů a pohybu. Automatizace.hw.cz [online]. ČR: Automatizace.hw.cz, 2017 [cit. 2017]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rotacni-ekodery-pro-řízení-pohonu-a-pohybu.html>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Juránek, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2018  
Datum odevzdání: 30.04.2019



  
doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

# **Zásady pro vypracování bakalářské práce**

## **I.**

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## **II.**

### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Titulní list  | 6. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |
| 2. Originál zadání BP  | 7. Obsah BP                                  |
| 3. Zásady pro vypracování BP                                       | 8. Textová část BP                           |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení                           | 9. Seznam použité literatury                 |
| 5. Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby | 10. Přílohy                                  |

- ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.
- ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.
- ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP.
- ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP.
- ad 5) V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právnickými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.
- ad 6) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.
- ad 7) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.
- ad 8) Textová část BP obvykle zahrnuje:
- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
  - Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
  - Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 10).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 9) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.
- ad 10) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta materiálově - technologická*  
*Katedra .....*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

### IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty materiálově – technologické, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2018/2019.

Ostrava 12. 11. 2018

  
**Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.**  
Děkanka Fakulty materiálově – technologické  
VŠB-TU Ostrava

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.**

V Ostravě .....

30.4.2019

Daniel Szepanič

.....  
podpis (jméno a příjmení studenta)

## **Abstrakt**

Tato práce je zaměřena na typy snímačů pro měření úhlu natočení volantu. Jsou zde popsány základní principy měření úhlu natočení a druhy snímačů natočení volantu používané v automobilech. Další část práce zahrnuje testovací měření na zvolených snímačích rotačního pohybu a návrh univerzálního řešení pro měření natočení volantu na prototypových vozidlech. Výsledky z naměřených hodnot testovacích měření jsou zobrazeny v grafech.

## **Klíčová slova**

rotační enkodér, měření, úhel natočení, volant, snímač

## **Abstract**

This work is focused on types of steering angle sensors. There are described some basic principles of angle measurement and types of steering angle sensors used in automobiles. Next part includes some test measurements of selected rotary angle sensors and designed universal solution for steering wheel measurement on prototype vehicles. The test measurement results are shown in graphs.

## **Keywords**

rotary encoder, measurement, angle position, steering wheel, sensor

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Juránkovi Ph.D. za odborné vedení, rady a připomínky k formě zpracování. Dále i za jeho ochotu a poskytnutí potřebných informací k praktické části bakalářské práce.

# Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Snímače pro měření rotačního pohybu .....</b>	<b>2</b>
1.1 Indukční snímače .....	2
1.2 Optoelektrické snímače .....	3
1.3 Inkrementální a absolutní princip .....	5
1.3.1 Inkrementální enkodéry .....	5
1.3.2 Měření natočení rotačním inkrementálním optickým enkodérem.....	6
1.3.3 Absolutní enkodéry .....	8
1.4 Magnetické snímače .....	9
1.5 Odporové snímače.....	10
<b>2. Snímače natočení volantu využívané v automobilech .....</b>	<b>11</b>
2.1 Hallův snímač úhlu natočení volantu (LWS1) .....	11
2.2 Magnetorezistivní snímač úhlu natočení volantu (LWS3) .....	13
<b>3. Testovací měření na vybraných snímačích rotačního pohybu .....</b>	<b>14</b>
3.1 Potenciometrický lankový snímač .....	14
3.2 Rotační potenciometr PC1621AK500.....	17
3.3 Rotační potenciometr 3590s-2-1031.....	20
3.4 Rotační potenciometr VISHAY 534B1103JCB .....	23
<b>4. Návrh univerzálního řešení pro natočení volantu na prototypová vozidla .....</b>	<b>27</b>
4.1 Zhodnocení snímačů pro jejich použití na prototypové vozidlo.....	27
4.2 Návrh vlastního řešení.....	28
4.2.1 Hlavní ozubené kolo.....	29
4.2.2 Vedlejší ozubené kolo .....	31
4.2.3 Držák potenciometrů .....	32
4.2.4 Ochranný kryt .....	33
4.3 Složená sestava .....	35
4.4 Úprava vytisknutých dílů.....	37
4.5 Montáž vytisknutých dílů .....	38
4.5.1 Uchycení potenciometrů a ozubeného kola.....	38
4.5.2 Přichycení držáku ke krytu .....	39
4.5.3 Testovací měření funkčnosti zařízení.....	40
4.5.4 Přichycení děleného ozubeného kola na hřídel volantu .....	46
4.5.5 Montáž dvoudílného ochranného krytu.....	48



4.5.6 Testovací měření namontovaného zařízení .....	49
<b>Závěr .....</b>	<b>51</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>53</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>54</b>
<b>Seznam grafů .....</b>	<b>56</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>57</b>

# Úvod

Natočení volantu se měří pomocí snímačů, které snímají jeho pohyb a úhel natočení. Snímač je funkční prvek a tvoří vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Používají se také termíny senzor, převodník nebo detektor. Senzor snímá sledovanou veličinu a transformuje ji na výstupní veličinu, kterou je obvykle analogový nebo digitální signál.

Tyto snímače se nachází na různých místech podle určitého typu automobilu. Obvykle jsou snímače umístěny na hřídeli volantu nebo jsou zahrnuty v samotném řízení. Hlavním úkolem snímače je přenášení informace o úhlu, který řidič nastavil pomocí volantu. Tato informace o úhlu se přenáší od snímače do řídicí jednotky ABS. Snímač je schopný měřit úhel, který odpovídá čtyřem otočením volantu.

Teoretická část této práce popisuje typy snímačů pro měření rotačního pohybu a jejich principy a zhodnocením jejich použití pro měření natočení volantu ve vozidlech. Další kapitola této části se zabývá snímači natočení volantu, které se využívají v sériových vozidlech a posouzení jejich využití v prototypových vozidlech.

Praktická část se zabývá testovacím měřením na vybraných snímačích rotačního pohybu a návrhem univerzálního řešení pro měření natočení volantu na prototypové vozidlo.

# 1. Snímače pro měření rotačního pohybu

Rotační pohyb je mechanická veličina. Snímače úhlu natočení se řadí mezi snímače polohy. Princip těchto snímačů je podobný jako u snímačů polohy s tím rozdílem, že snímáný objekt je snímán pod nějakým úhlem nebo snímač sám úhel snímá.

Snímače rotačního pohybu tedy úhlu natočení se dají rozdělit podle jejich základního principu na několik skupin. Pro měření úhlového natočení a jeho převod na elektrický signál se používají potenciometrické, indukční, magnetické nebo optoelektrické snímače, které se dále dělí na inkrementální nebo absolutní. Typ senzoru volíme podle druhu materiálu sledovaného objektu, podle podmínek prostředí a způsobu detekce a to dotykové nebo bezdotykové.

Nejdůležitějším krokem při výběru snímače zůstává volba správného funkčního principu, u něhož jsou kritickými faktory materiál snímaného předmětu, spínací vzdálenost, elektrické připojení a cena.

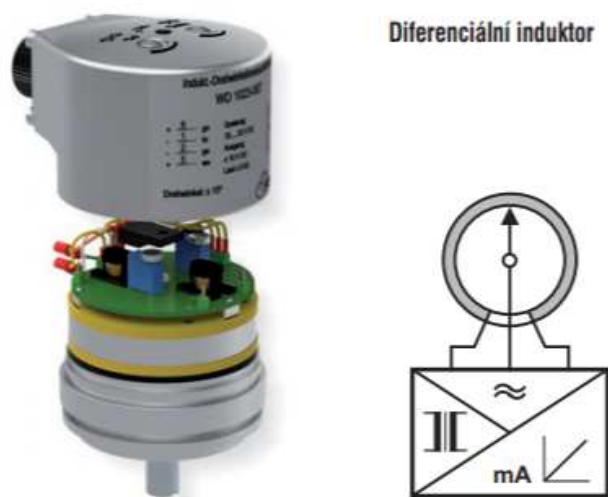
U bezdotykových snímačů je důležitým parametrem spínací vzdálenost, která udává, při jaké vzdálenosti snímaného předmětu od aktivní plochy snímač změní svůj klidový stav.

Mezi základní typy bezdotykových snímačů polohy se řadí snímače odporové, optické, magnetické, indukční, kapacitní a ultrazvukové. [4]

## 1.1 Indukční snímače

Tento typ snímače úhlového natočení je bezkontaktní a používá se především na místech vystavených velkým vibracím nebo rázům i agresivnímu prostředí. Používají se především pro měření u energetických nebo chemických zařízení, např. při měření polohy ventilů, nebo v papírenském a textilním průmyslu při měření polohy stavěcích válců, velmi často také v systémech pro měření náklonu u jeřábů a rypadel nebo v prostředí s nebezpečím výbuchu. [4] Linearita indukčních snímačů se pohybuje okolo 0,2 % až 0,5 % pro jednootáčkové snímače a 0,2 % pro víceotáčkové. Rozsahy se pohybují od 90° až 360° pro jednootáčkové a až 23040° pro víceotáčkové snímače.

Pracují na principu změny indukčnosti cívky při změně magnetické vodivosti jejího obvodu. Snímače obsahují diferenciální induktor (viz. Obr. 1) ve formě kruhového vinutí s bezkontaktním jezdcem.



Obr. 1 Indukční snímač [4]

## 1.2 Optoelektrické snímače

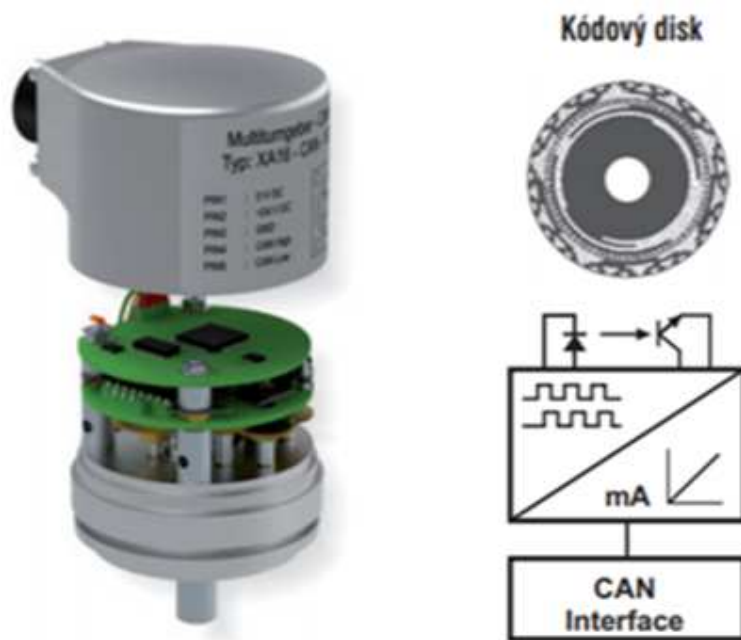
Optoelektrické snímače rotačního pohybu (viz. Obr. 2) používají kódové disky, jejichž stopy jsou číslicově snímány. Používá se inkrementální i absolutní kódování (viz. Obr. 3).

Snímače mají vysoké rozlišení, velmi nízkou teplotní závislost, výstupem je analogový nebo digitální kódovaný signál.

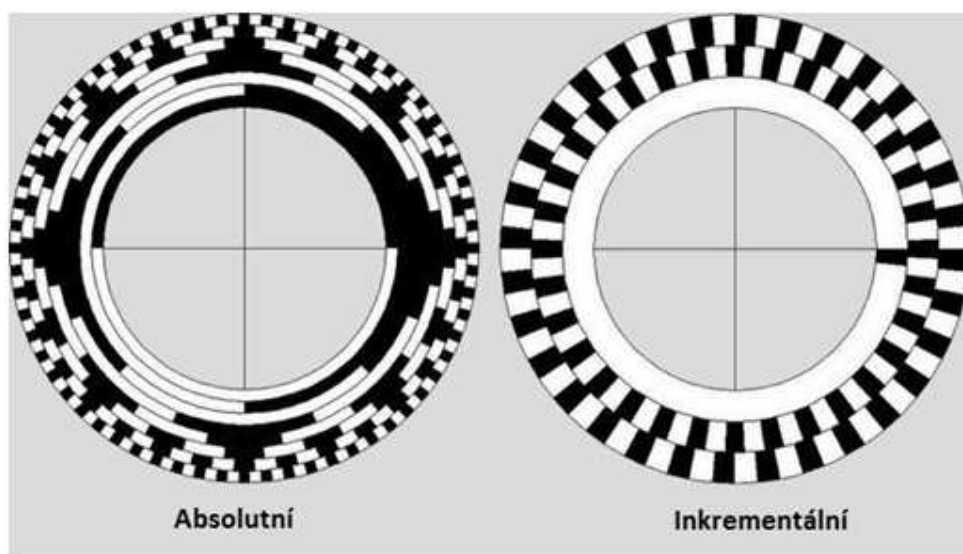
Systém s inkrementálním kódováním převádí úhlové natočení proporcionálně na počet pulzů ve dvou stopách A a B s ofsetem  $90^\circ$  pro detekci směru točení.

Systémy s absolutním kódováním se dělí na jednootáčkové nebo víceotáčkové. Jednootáčkové snímače se používají např. v drážních vozidlech pro přenos jízdních povelů nebo u jeřábů jako snímače kruhového pohybu.

Víceotáčkové snímače se většinou používají u lankových měřicích systémů vlečných zařízení, u navijáků jeřábů a u obráběcích strojů k snímání polohy nástrojů. [4]



Obr. 2 Optoelektrický snímač [4]



Obr. 3 Kódový disk pro absolutní a inkrementální snímač [8]

## 1.3 Inkrementální a absolutní princip

Běžné rotační enkodéry se dělí na dvě skupiny a to na inkrementální, které generují sled pulsů a na absolutní enkodéry, které generují sled unikátních kódů.

Dále se dají enkodéry rozdělit podle mechanického upevnění na enkodéry s hřídelí a na enkodéry bez hřídele s dutinou. Konstrukce s dutinou se začaly nabízet teprve před několika lety, ale v současné době se z důvodu snadnější montáže stávají stále více vyhledávanými. [1]

### 1.3.1 Inkrementální enkodéry

Konstrukčně jednodušší inkrementální provedení (viz. Obr. 4) při rotačním pohybu generují pulsy, jejichž určitý počet odpovídá určité vzdálenosti posuvu nebo natočení a závislost počtu pulsů na časový úsek odpovídá rychlosti. Výstupní signál je tedy relativní a informuje jen o pohybu, ne však sám o sobě o přesné pozici. To případně na základě startovací pozice musí vyhodnocovat až externí měřící jednotka. [1]



Obr. 4 Inkrementální enkodér s hřídelí [5]

Inkrementální enkodéry se dají rozdělit na mechanické enkodéry, které pracují se střídavě přepínanými kontakty a na optické enkodéry. Inkrementální enkodéry jsou zpravidla levnější a proto jsou více rozšířené.

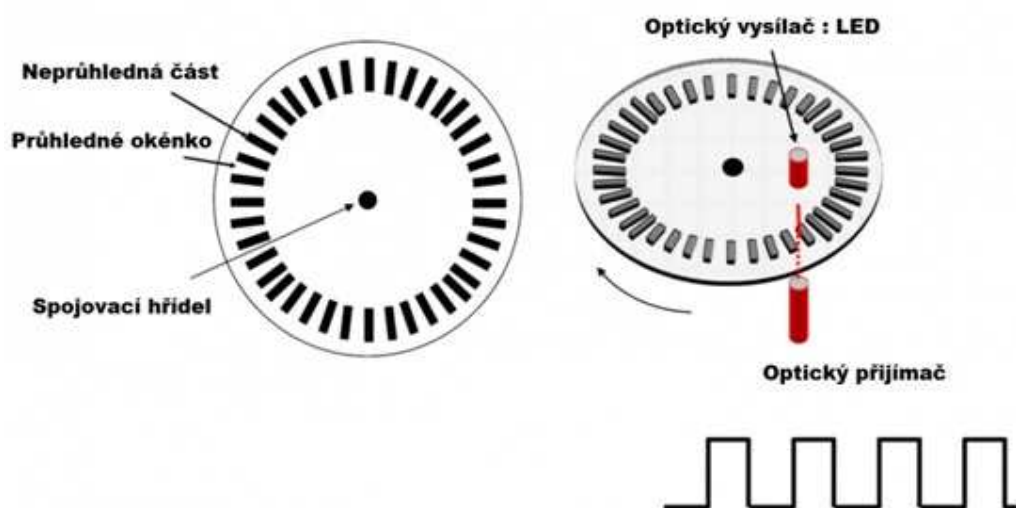
Nejčastěji se enkodéry používají v robotice, CNC strojích, servopohonech, letecké technice a dopravních prostředcích.

### 1.3.2 Měření natočení rotačním inkrementálním optickým enkodérem

Rotační enkodér je elektromechanický převodník, který převádí rotační pohyb na sekvence elektrických digitálních impulsů.

Skládá se z disku s posloupností opticky průhledných otvorů nebo odrazných plošek, optického vysílače s LED diodou, optického přijímače což je fototranzistor nebo fotodioda. Případně může být součástí enkodéru i optika pro zaostření optického paprsku.

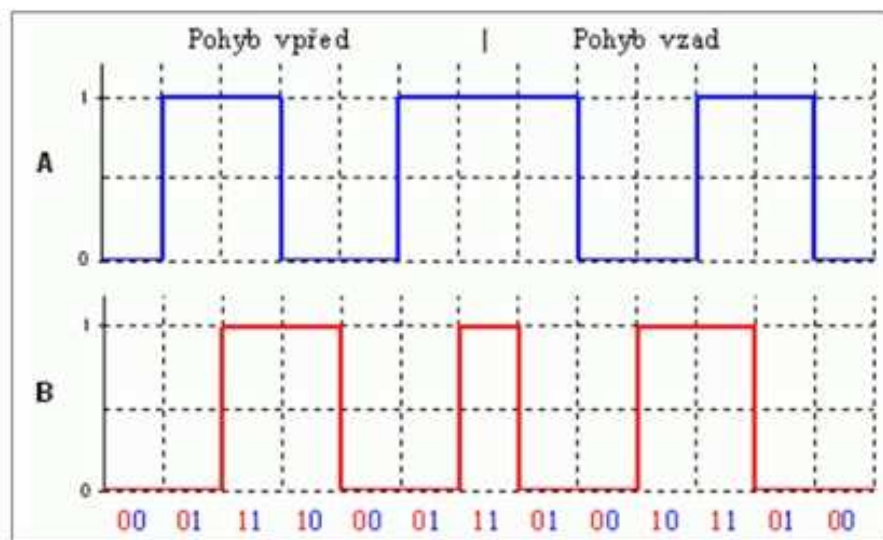
Princip funkce enkodéru (viz. Obr. 5) je v disku spojeném s otočnou spojovací hřídelí enkodéru, která je pak v praxi připevněna k hřídeli motoru.



Obr. 5 Princip rotačního optického enkodéru [1]

Hřídel se tedy otáčí současně s diskem. Světlo vysílané světelným zdrojem, který je umístěn před diskem, může procházet diskem pouze průhlednými okénky, zatímco zbývající část disku neprůhledná a pohlcuje světlo.

Světelné impulsy vytvářené otáčením disku aktivují optický snímač, který je převádí na elektrické impulsy nebo obdélníkový signál (viz. Obr. 6).



Obr. 6 Výstupní inkrementální obdélníkový signál enkodéru [1]

Aby bylo u snímače zajištěno generování obdélníkových impulsů bez rušení, musí být elektrický signál zesílen a elektronicky zpracován. [1]

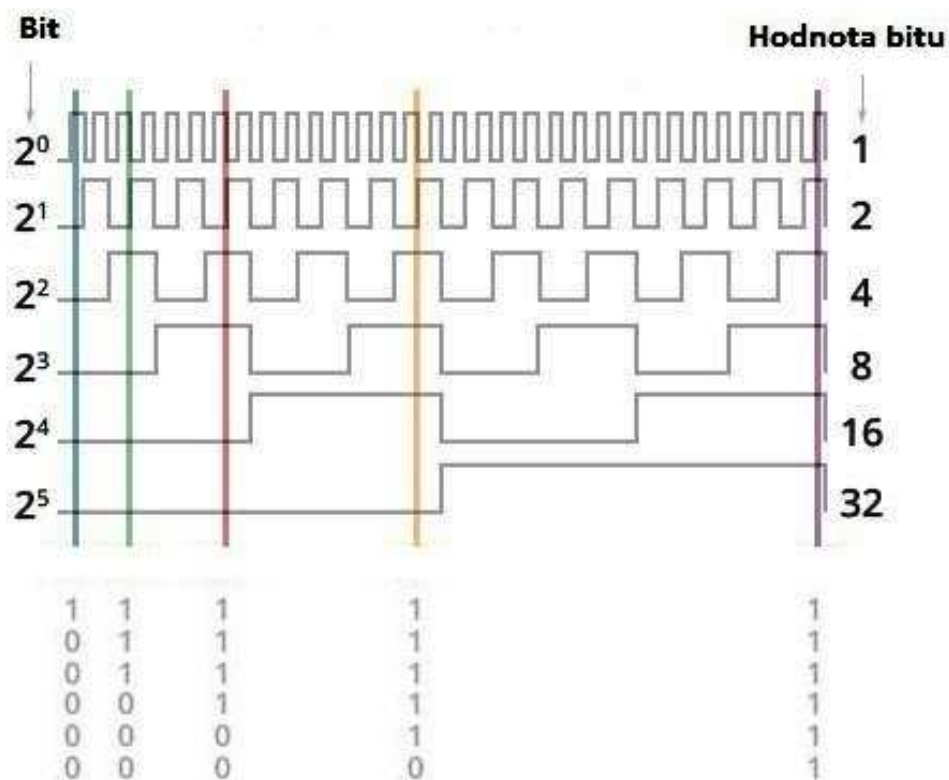


### 1.3.3 Absolutní enkodéry

Absolutní enkodéry, které jsou konstrukčně složitější, generují pro každou pozici natočení konkrétní číselnou hodnotu (viz. Obr. 7), tedy v každém momentě je přesně definováno v jakém úhlu natočení se enkodér nachází.

Absolutní enkodéry se dělí na jednootáčkové a víceotáčkové, s výstupy paralelními, sériovými i analogovými. Existují i programovatelné snímače umožňující naprogramovat parametry podle požadavků.

Výhodou absolutního snímače je, že si na rozdíl od inkrementálního snímače pamatuje polohu při vypnutí napájení. Jakmile enkodér může komunikovat s napětovým řídicím systémem, může udat přesnou polohu. Nevýhodou je jeho vyšší cena a vyžaduje více elektroniky. [1] [5]



Obr. 7 Výstupní absolutní obdélníkový signál [9]

## 1.4 Magnetické snímače

Snímače na magnetickém principu jsou velmi robustní a mají plně hermeticky uzavřený dvoukomorový měřicí systém. V provedení bez vyvedené hřídelky snímače měří polohu permanentního magnetu, upevněného na měřeném objektu (viz. Obr. 8). Linearita jednootáčkových snímačů bývá 0,2 % až 0,5 %, rozsah až 360°. Víceotáčkové snímače mají linearitu  $\pm 0,1$  % až 0,3 % a rozsah 1080° až 23040°.



Obr. 8 Magnetický snímač [4]

Snímače v provedení s vyvedenou hřídelkou mají rovněž plně hermeticky uzavřenou elektroniku. Jejich použití je univerzální všude tam, kde je nutno měřit úhlové natočení ve velmi obtížných podmínkách prostředí.

Mezi typické aplikace se řadí robotika, snímání pozice plynového pedálu, snímání pozice volantu nebo náhrada za optické nebo potenciometrické enkodéry.

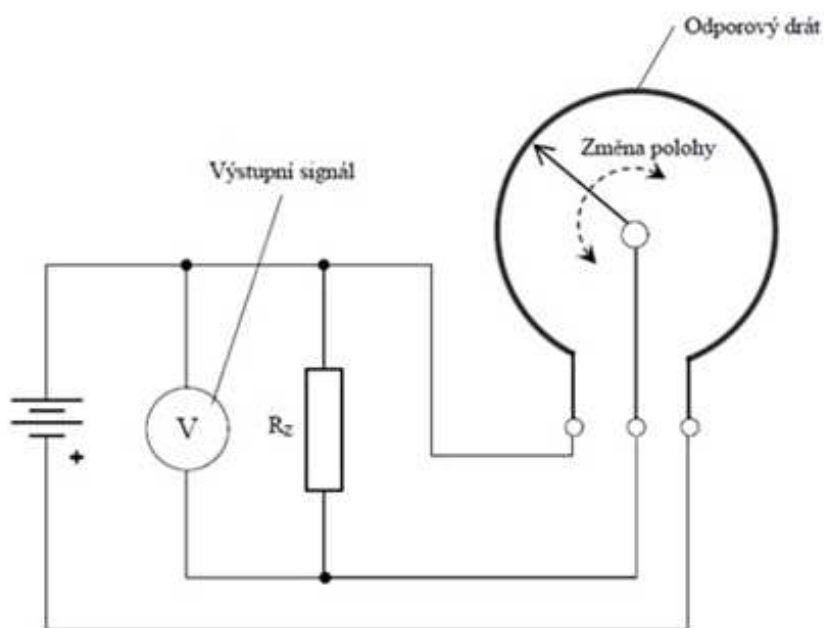
Výstupní signál jednootáčkových i víceotáčkových snímačů může být analogový proudový, napěťový nebo číslicový s kontakci CAN open. [4]

## 1.5 Odporové snímače

Odporové (potenciometrické) snímače (viz. Obr. 9) se nepoužívají jen pro měření délkového posunutí, ale i pro měření úhlového natočení.

Jsou založeny na použití odporových potenciometrů s pohyblivým kontaktem (jezdcem), mechanicky ovládaným měřenou veličinou. Pro měření úhlového natočení se používají potenciometry s rotačním nebo spirálovým pohybem jezdice. Senzory s rotujícím jezdcem jsou ovládané lankem. Odporový senzor se chová jako napěťový dělič. Natočení jezdcem zapříčiní změnu odporu snímače. [2]

Proud, který snímačem prochází nesmí být moc velký z důvodu možného zkratu nebo nadměrného zahřívání snímače.



Obr. 9 Princip odporového snímače natočení [4]

Mezi hlavní výhody odporových snímačů natočení patří jejich nízká cenová dostupnost, jednoduchá konstrukce, dobrá přesnost. Nevýhodou je problém, který souvisí s opotřebením a vibracemi.

Přesnost odporového snímače se udává v procentuálním vyjádření z hodnoty stejnosměrného napětí přivedeného na potenciometr a označuje se jako linearita snímače. Nejlepší senzory v kruhovém provedení dosahují přesnosti až 0,1 %. Běžně dostupné odporové snímače natočení disponují linearitou přibližně 0,05 %, rozlišením 0,01° a měřicím rozsahem 350°. Životnost se pohybuje mezi  $2 \cdot 10^6$  až  $5 \cdot 10^7$  otáček v plném rozsahu. Konkrétní hodnoty závisí na provedení potenciometru. [2] [7]

## **2. Snímače natočení volantu využívané v automobilech**

V moderních vozidlech se snímače úhlu natočení volantu využívají jako součást elektronického stabilizačního systému ESP. Znalost úhlu natočení volantu umožňuje vypočítat požadovaný směr jízdy vozidla.

Ke snímání úhlu natočení jsou použitelné všechny typy snímačů úhlu. Z důvodu bezpečnosti jsou nutné všechny druhy snímačů úhlu, u kterých lze snadno kontrolovat věrohodnost nebo které se v ideálním případě mohou kontrolovat samy. Používají se potenciometry, optické snímání kódu a magnetické principy. U většiny používaných snímačů je však potřebná stalá registrace a ukládání aktuální otáčky volantu, protože běžné snímače mohou měřit maximálně 360°, volant osobního automobilu má ale rozsah úhlu až 1440° (celkem čtyři otáčky). Toleranční oblast musí být během celé životnosti snímače menší než odchylka  $\pm 5^\circ$ . [3] [6]

### **2.1 Hallův snímač úhlu natočení volantu (LWS1)**

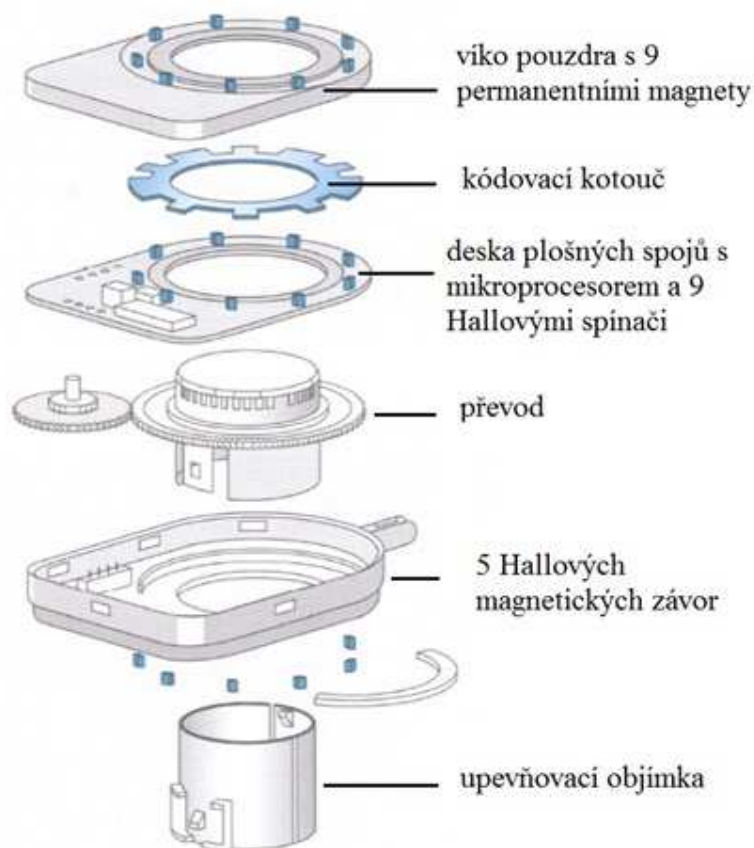
Snímač úhlu natočení volantu snímá polohu volantu pomocí 14 „Hallowých závor“. Používají se v něm Hallowy spínače, na které působí permanentní magnety. Mezi spínači a magnety se pohybuje kovový kódovací kotouč, který je spojen s hřídelí volantu a který je střídavě odkrývá a zakrývá. Signály ze spínačů vyhodnocuje elektronika.

Tímto způsobem se pomocí devíti Hallowých integrovaných obvodů vytváří digitální informace o úhlu natočení volantu. Zbývajících pět Hallowých snímačů

registruje otáčku, která je pomocí převodu do pomalu s poměrem 4:1 převedena do jednoznačného rozsahu 360°.

Součástí snímače jsou i horní magnety, které mohou být v závislosti na poloze volantu jednotlivě odstíněny magneticky měkkým kódovacím kotoučem (viz. Obr. 10), umístěným pod nimi. Na desce plošných spojů pod kódovacím kotoučem se nachází Hallové spínače v podobě integrovaných obvodů a mikroprocesor, který provádí testy spolehlivosti a dekóduje informace. [3]

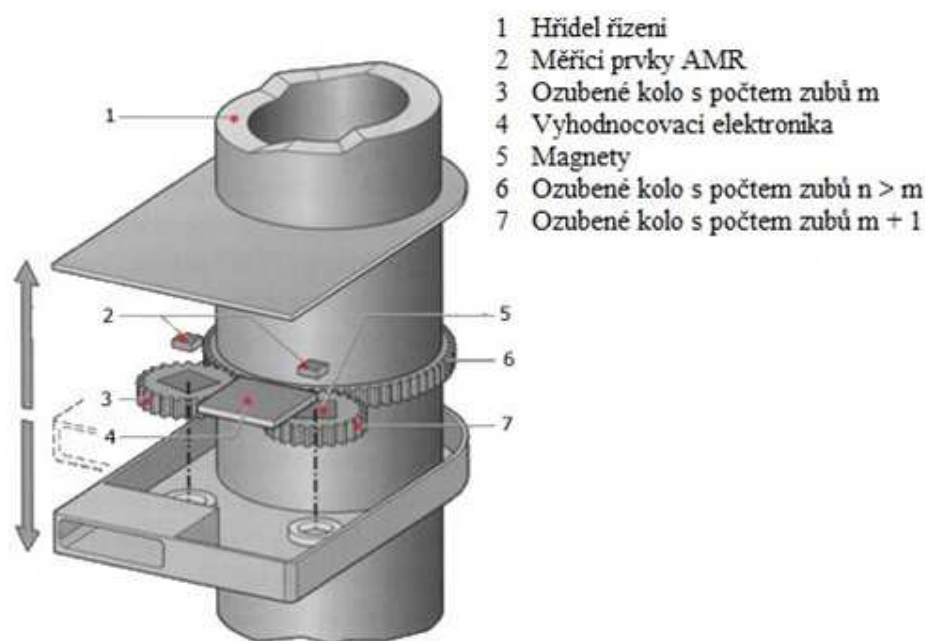
Je nutné, aby permanentní magnety na víku pouzdra měly stejný rozestup. Mezi nevýhody snímače se dá zařadit vysoký počet snímacích prvků.



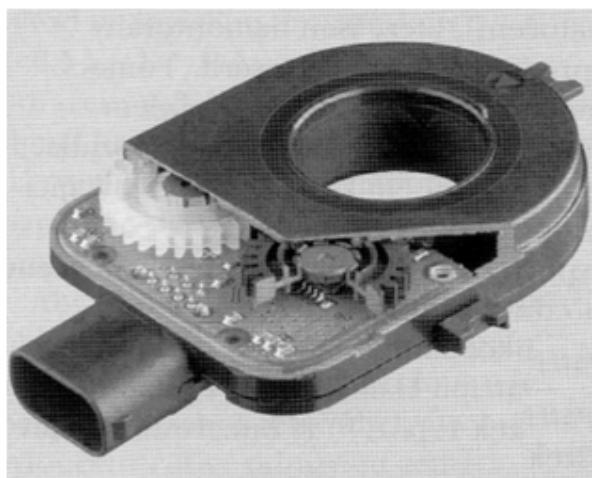
Obr. 10 Hallův snímač úhlu natočení volantu [3]

## 2.2 Magnetorezistivní snímač úhlu natočení volantu (LWS3)

Tento druh snímače natočení úhlu využívá anizotropní magnetorezistivní prvky (AMR), jejichž odpor se mění se směrem vnějšího magnetického pole. Informace o úhlu v rozsahu čtyř plných otáček získává měřením úhlu natočení dvou ozubených kol, poháněných ozubeným kolem umístěným na hřídeli volantu (viz. Obr. 11). [3]



Obr. 11 Snímač natočení volantu s AMR prvky [3]



Obr. 12 Snímač natočení volantu LWS3 [3]

### 3. Testovací měření na vybraných snímačích rotačního pohybu

Měření probíhalo na zvolených snímačích rotačního pohybu, kde se měřila jejich závislost odporu na poloze snímače a závislost napětí na poloze snímače pomocí multimetru. Pro ověření plynulosti signálu při změnách natočení byl použit osciloskop.

#### 3.1 Potenciometrický lankový snímač

Cílem měření bylo zjistit změny odporu lankového potenciometrického snímače při natahování lanka ovládajícího senzor (viz. Obr. 13). Potenciometr byl připevněný na ocelovém profilu pomocí lepicí pásky.

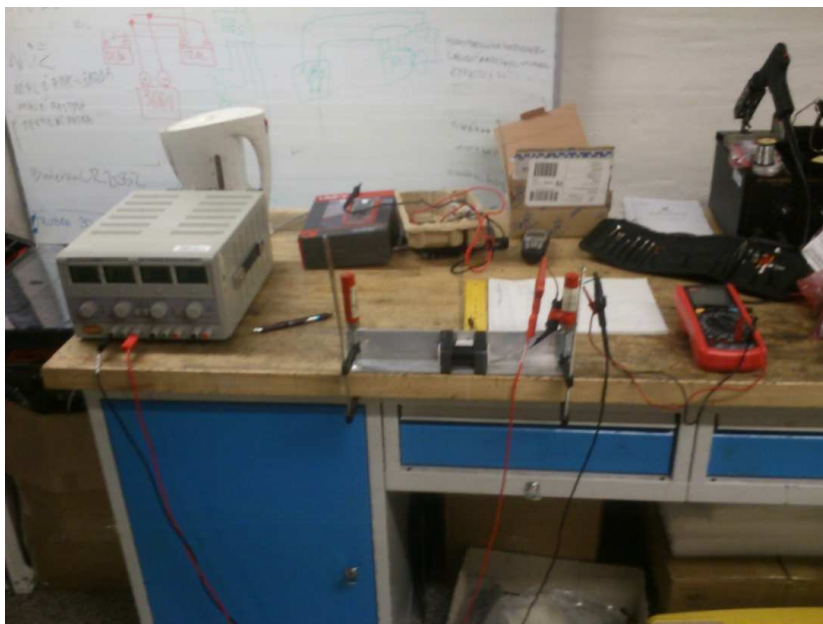


Obr. 13 Měřený potenciometrický lankový snímač

Pomocí multimetru a pravítka se měřil odpor natahováním lanka o 1 cm až do maximálního rozsahu snímače, kde první měření odpovídá nulovému natažení lanka. Odpor byl měřený během natahování lanka i při jeho povolování.

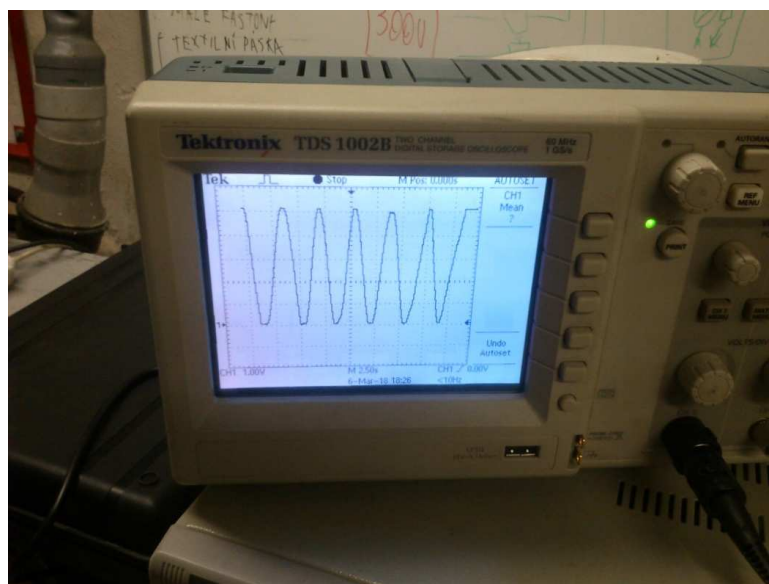


Naměřené hodnoty odporu byly zaznamenány do tabulky. Dalším krokem byl snímač připojen k napětí 10V (viz. Obr. 14).



Obr. 14 Zapojení potenciometrického snímače k napětí

Následovalo zapojení snímače k osciloskopu pro zjištění signálu snímače při změně polohy lanka (viz. Obr. 15) a zjištění, zda signál nevykazuje odchylku.



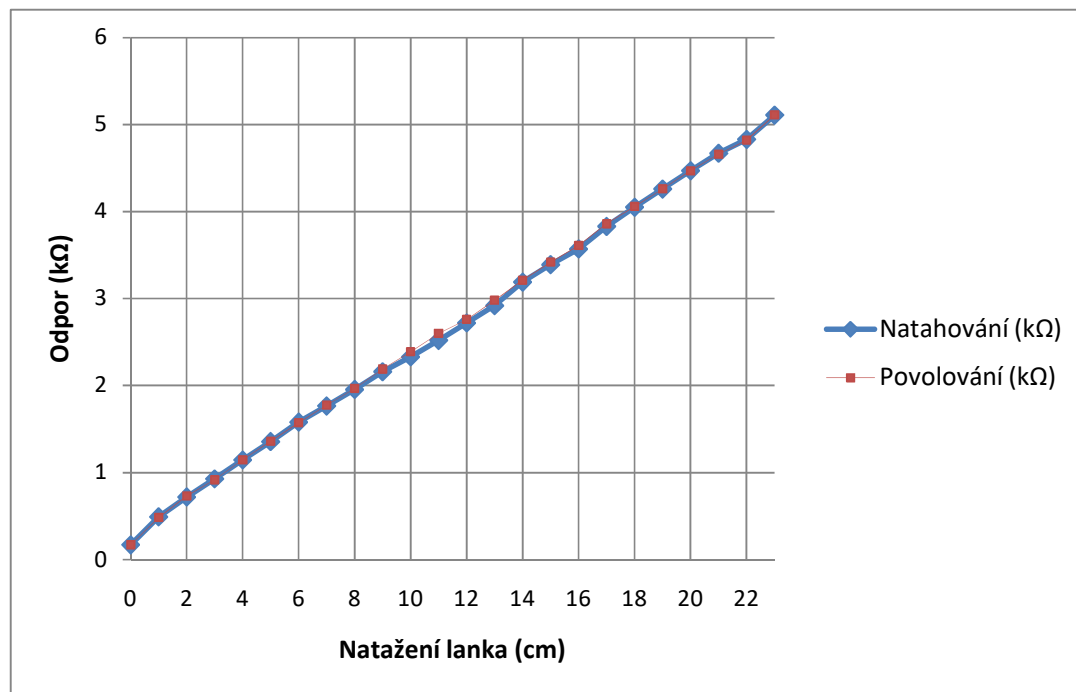
Obr. 15 Signál potenciometrického snímače z osciloskopu



Podle výsledného signálu na osciloskopu se zjistilo, že snímač nevykazuje žádné patrné odchylky, výsledný signál je při natahování lanka plynulý.

Ze všech naměřených hodnot byla odvozena závislost odporu na poloze lanka, která je zobrazena v grafu. (viz. Graf 1)

Graf 1 Závislost odporu na poloze lanka



Výsledná závislost odporu potenciometru na poloze lanka při natahování i povolování nemá žádné výrazné odchylky.

### 3.2 Rotační potenciometr PC1621AK500

Pro toto měření byl použit rotační potenciometr (viz. Obr. 16) se stupnicí a vyznačeným maximálním rozsahem. Pomocí měřítka a multimetru se měřil odpor nastavováním polohy po  $10^\circ$  v celém rozsahu snímače od nulové až po maximální výchylku. Odpor se měřil během zvyšování i snižování výchylky.

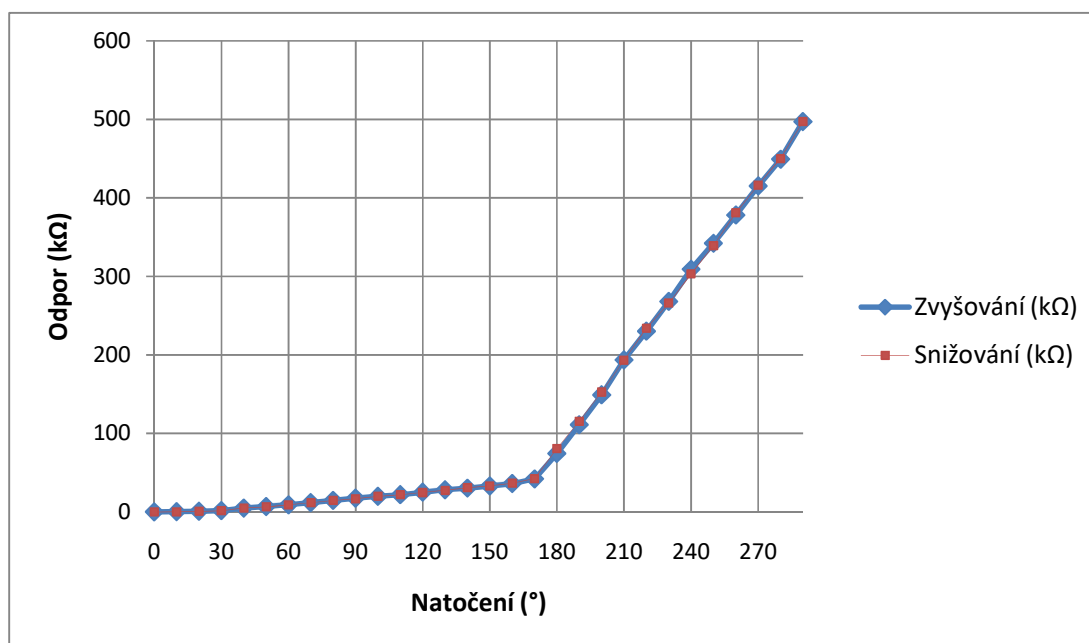


Obr. 16 Potenciometr se stupnicí a vyznačeným rozsahem

Dále byl potenciometr zapojen k napětí 10V a osciloskopu (viz. Obr. 17) pro měření signálu a byl zjištěn průběh signálu potenciometru (viz. Obr. 18) při posouvání jeho polohy.

Z naměřených hodnot odporu potenciometru byla odvozena závislost odporu na natočení, kde první měření je nulové natočení a každé další měření odpovídá posunutí natočení o  $10^\circ$ . Závislost je zobrazena v grafu. (viz. Graf 2)

Graf 2 Závislost odporu na natočení



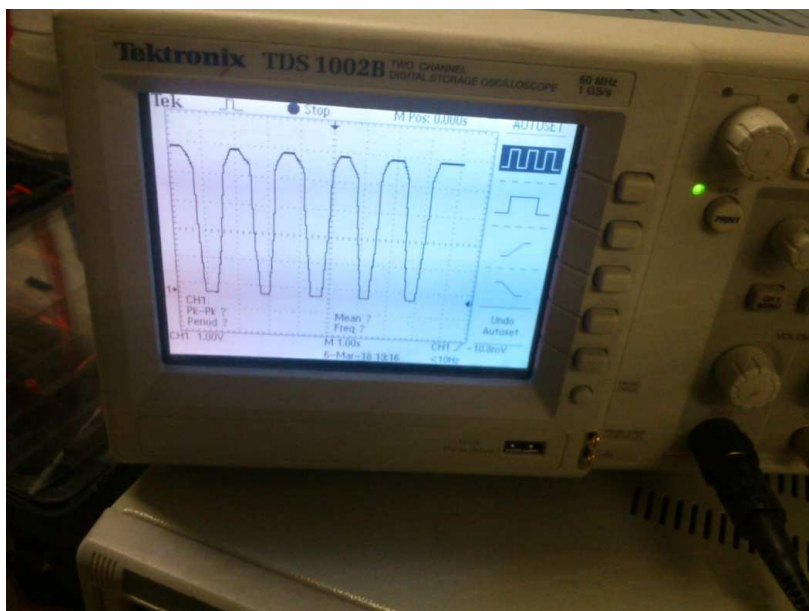
Z grafu závislosti naměřeného odporu na natočení lze vyčíst, že křivky zvyšování a snižování výchylky jsou totožné.



Obr. 17 Potenciometr zapojený k osciloskopu

Dále bylo potřeba zjistit, zda použitý měřený snímač vykazuje plynulý signál při změně natočení.

Snímač byl proto zapojen ke zdroji s nastaveným napětím na 10V a následně proběhlo zapojení k osciloskopu pro kontrolu plynulosti signálu snímače.



Obr. 18 Signál potenciometru z osciloskopu

Po připojení potenciometru k napětí a k osciloskopu bylo zjištěno, že snímač nevykazuje odchylky při různých polohách natočení, kvalita signálu je dostatečná bez viditelných chyb, které by mohlo způsobit rušení nebo ruční nastavování polohy.

### 3.3 Rotační potenciometr 3590s-2-1031

Měření probíhalo na desetiotáčkovém potenciometru (viz. Obr. 19) s rozsahem  $3600^\circ$  umístěného v přípravku s nalepenou stupnicí (viz. Obr. 20). Odpor se měřil pomocí měřítka nastavováním polohy po  $10^\circ$  pro jednu otáčku potenciometru. Odpor se zjišťoval během zvyšování i snižování výchylky.



Obr. 19 Měřený potenciometr 3590s-2-1031

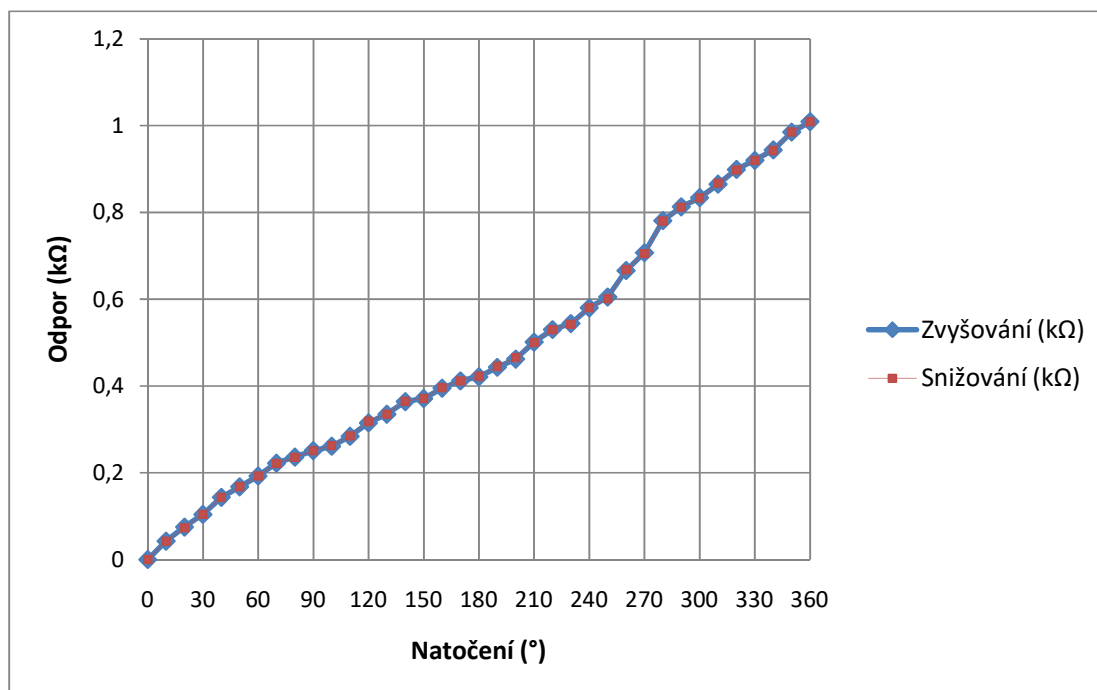
Rotační potenciometr značky Bourns s lineární dráhou jezdce má odpor  $10\text{ k}\Omega$  s tolerancí  $\pm 5\%$ . Životnost potenciometru je udávána na 1 milion otáček a ztrátový výkon  $2\text{ W}$ .



Obr. 20 Měřený potenciometr s nalepenou stupnicí

Naměřené hodnoty odporu potenciometru byly zaznačeny do grafu (viz. Graf 3) a byla zjištěna závislost odporu na natočení pro jednu otáčku snímače.

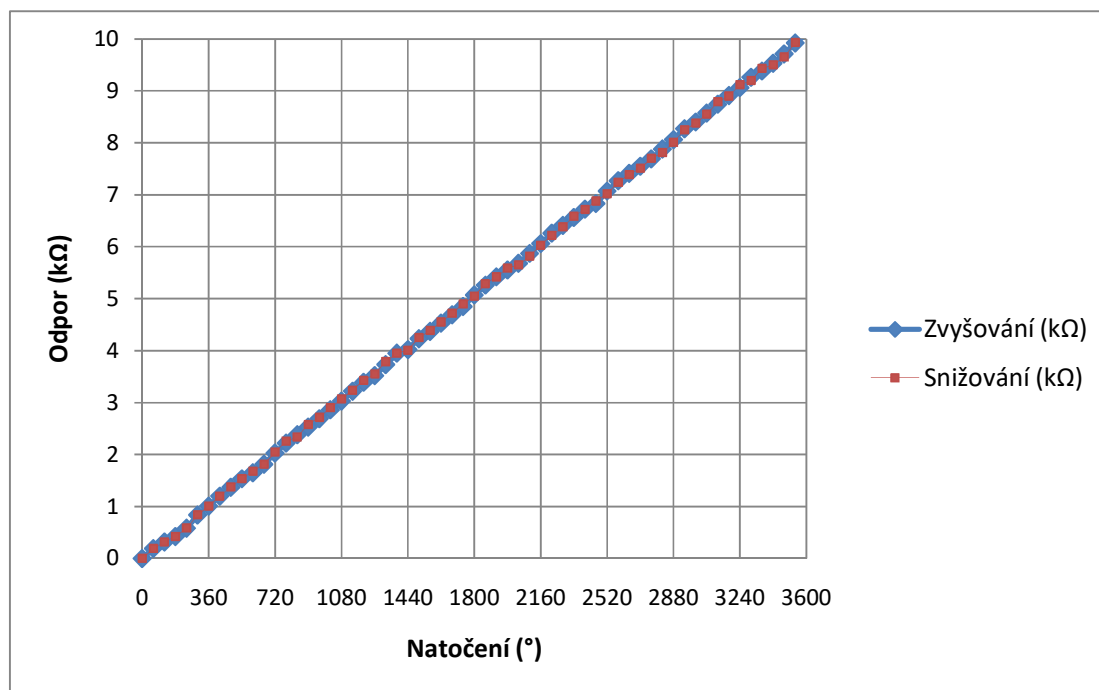
Graf 3 Závislost odporu na natočení pro jednu otáčku snímače



Výsledná závislost zvyšování odporu na natočení se překrývá se závislostí snižování odporu na natočení. Z toho vyplývá, že při měření nedošlo k chybě a snímač nevykazuje chybu.

Dále byl změřený odpor pomocí měřítka nastavováním polohy po 60° pro celý rozsah potenciometru a sestrojena jeho grafická závislost. (viz. Graf 4)

Graf 4 Závislost odporu na natočení pro celý rozsah potenciometru



Podle grafu závislosti naměřeného odporu na natočení je patrné, že se výchyly průběhů zvyšování a snižování neliší a nevykazují výchyly.

### 3.4 Rotační potenciometr VISHAY 534B1103JCB

Úkolem měření bylo zjištění závislosti odporu dvou víceotáčkových potenciometrů na úhlu natočení. (viz. Obr. 21)



Obr. 21 Měřené potenciometry VISHAY 534B1103JCB

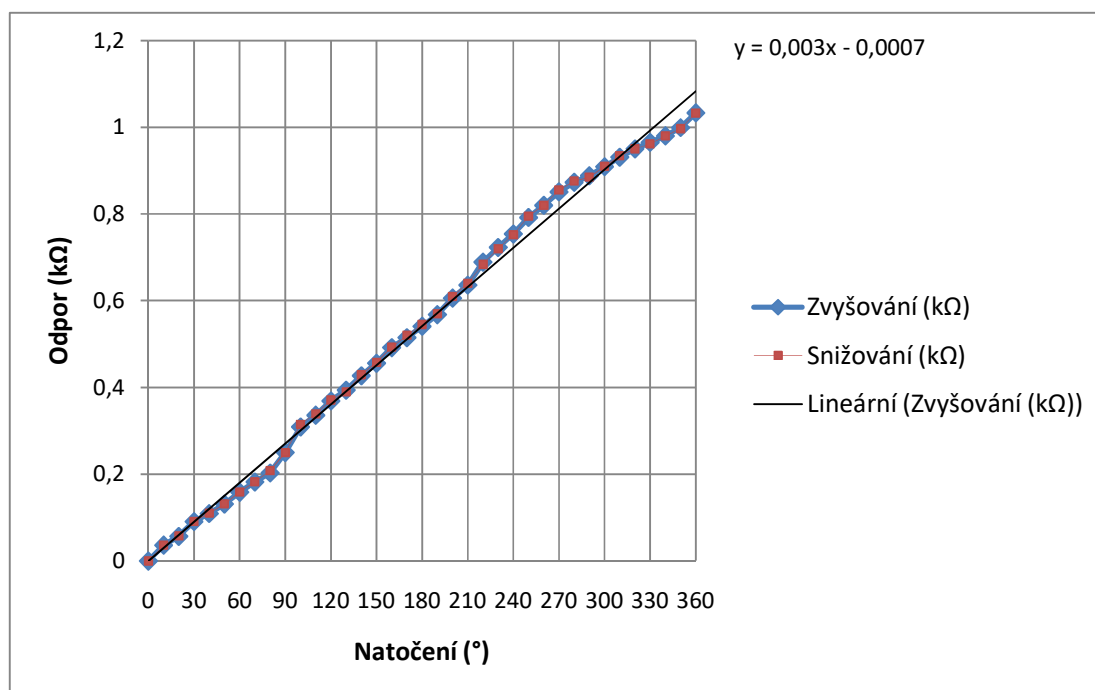
Jedná se o rotační, desetiotáčkové potenciometry s rozsahem  $3600^\circ$ , odporem  $10\text{ k}\Omega$ , ztrátovým výkonem  $2\text{ W}$  a životností udávanou výrobcem 1 milion otáček. Pracovní teplota se pohybuje v rozpětí  $-55$  až  $125\text{ }^\circ\text{C}$ .

Měření probíhalo pomocí měřítka s vyznačenou stupnicí nejdříve pro jednu otáčku pootáčením polohy po  $10^\circ$  a zpět stejným způsobem pro oba potenciometry.

Z naměřených hodnot byly sestrojeny grafy závislosti odporu na natočení pro jednu otáčku prvního potenciometru (viz. Graf 5) i druhého (viz. Graf 6), dále i v celém rozsahu.

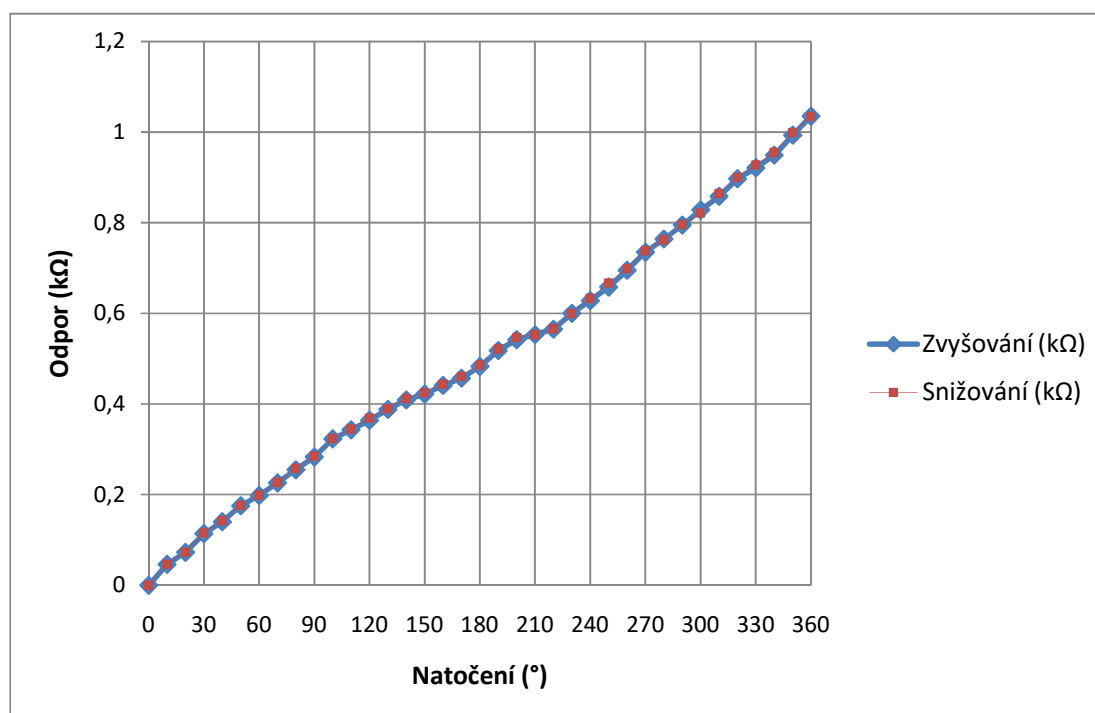


Graf 5 Závislost odporu na natočení pro jednu otáčku potenciometru A



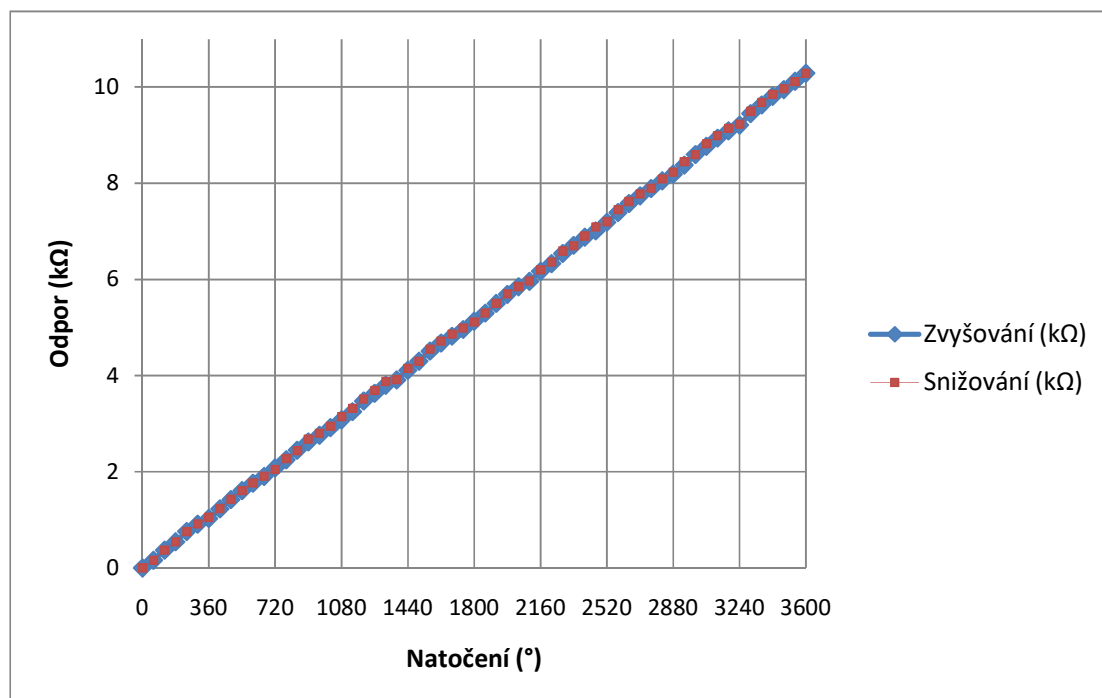
Ze závislosti odporu na natočení pro jednu otáčku potenciometru A byla při zvyšování výchylky vygenerována lineární regresní křivka a rovnice této závislosti.

Graf 6 Závislost odporu na natočení pro jednu otáčku potenciometru B



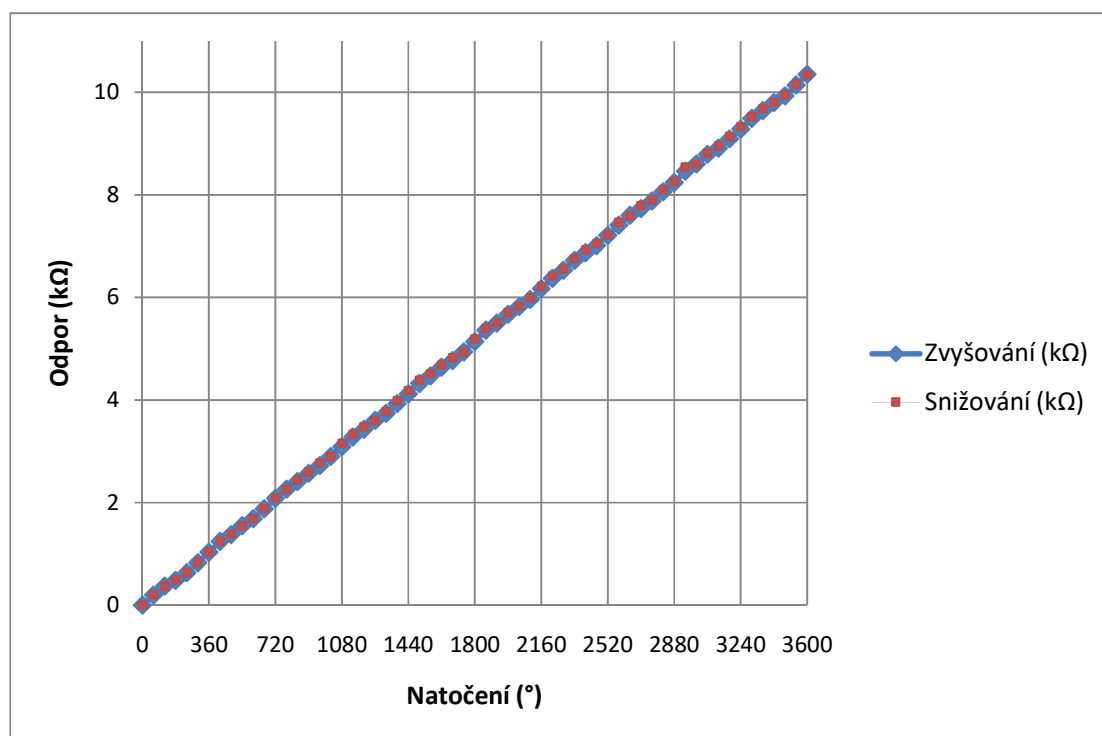
Následovalo měření odporu měřeného v celém rozsahu obou potenciometrů natáčením polohy po  $60^\circ$  v obou směrech. Z naměřených hodnot byla sestrojena grafická závislost odporu na natočení prvního potenciometru (viz. Graf 7) a druhého potenciometru. (viz. Graf 8)

Graf 7 Závislost odporu na natočení pro celý rozsah potenciometru A



Z naměřených hodnot vyplývá, že oba potenciometry splňují dovolené rozpětí maximálního odporu udávaného výrobcem  $\pm 5\%$ .

Graf 8 Závislost odporu na natočení pro celý rozsah potenciometru B



Výsledný graf závislosti naměřeného odporu na natočení pro celý rozsah potenciometru B odpovídá grafické závislosti odporu na natočení v celém rozsahu potenciometru A. Není zde viditelná žádná chyba při měření.

## **4. Návrh univerzálního řešení pro natočení volantu na prototypová vozidla**

Úkolem praktické části práce bylo navrhnout univerzální řešení pro natočení volantu určené na prototypové vozidlo. Dalším úkolem bylo navrhnuté zařízení vyrobit a otestovat jeho funkčnost na prototypovém vozidle.

### **4.1 Zhodnocení snímačů pro jejich použití na prototypové vozidlo**

Indukční snímače mají zvýšenou odolnost a životnost. Pracují na bezkontaktním principu a jsou vhodné do prašných, chemicky namáhaných prostředí s nebezpečím výbuchu. Mají dobrou přesnost a spolehlivost, ale používají se spíše v průmyslových oblastech. Jejich cena se může sahát až do několika tisíc Kč podle typu snímače.

Optoelektrické inkrementální a absolutní snímače pracují na principu kódových disků. Víceotáčkové snímače se používají pro měření úhlu natočení volantu. Nevýhoda je jejich vyšší cena.

Magnetické snímače natočení jsou robustní, pracují na principu permanentního magnetu. Používají se kromě jiného i pro natočení úhlu volantu, snímač by se dal použít na experimentální vozidlo. Mezi nevýhody se řadí vysoká cena.

Potenciometrické snímače pracující na principu změny odporu. Pro použití na prototypové vozidlo jsou odporové snímače nejjednodušší, nejlevnější a z hlediska hmotnosti nejlehčí varianta. Nevýhoda potenciometrů je jejich menší přesnost oproti jiným řešením a menší odolnost opotřebení. Zvolený typ potenciometru pro návrh disponuje životností 1 milion otáček.

## 4.2 Návrh vlastního řešení

Návrh je zaměřený na to, aby výsledné řešení mělo nízkou výrobní cenu, snadnou montáž, nízkou hmotnost a malé rozměry. Výsledné zařízení je potřeba upevnit na hřídel řízení prototypového vozidla. (viz. Obr. 22)



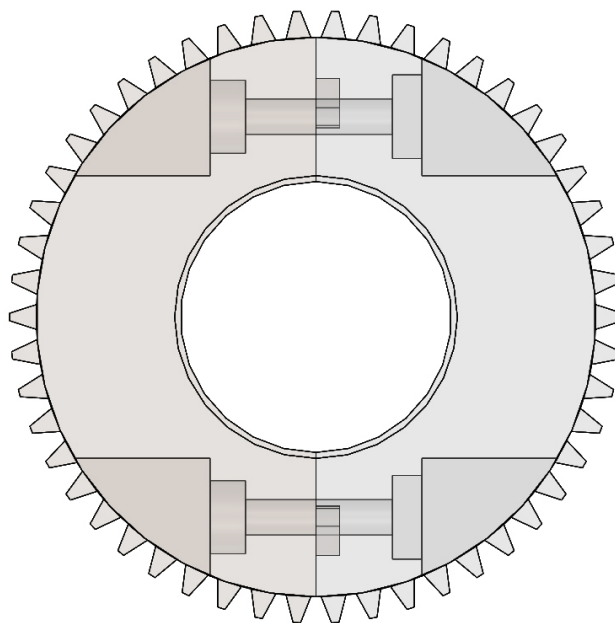
Obr. 22 Hřídel řízení prototypového vozidla

Z důvodu malého volného prostoru okolo hřídele řízení je nutné, aby navrhnuté zařízení mělo malé rozměry. Základem návrhu se staly 2 rotační víceotáčkové potenciometry VISHAY 534B1103JCB, které byly použity pro testovací měření. Důvodem použití dvou potenciometrů je spolehlivost snímače a kontrola měřeného signálu.

Navrhnuté zařízení se skládá ze dvou plastových ozubených kol, dvou víceotáčkových rotačních potenciometrů, plastového krytu skládajícího se ze dvou částí a držáku určeného k uchycení potenciometrů upevněných do menšího ozubeného kola. Hlavní ozubené kolo, upevněné na hřídeli řízení je dělené, jehož výhodou je snadná montáž a demontáž. Všechny díly sestavy byly vytisknuty na 3D tiskárně.

### 4.2.1 Hlavní ozubené kolo

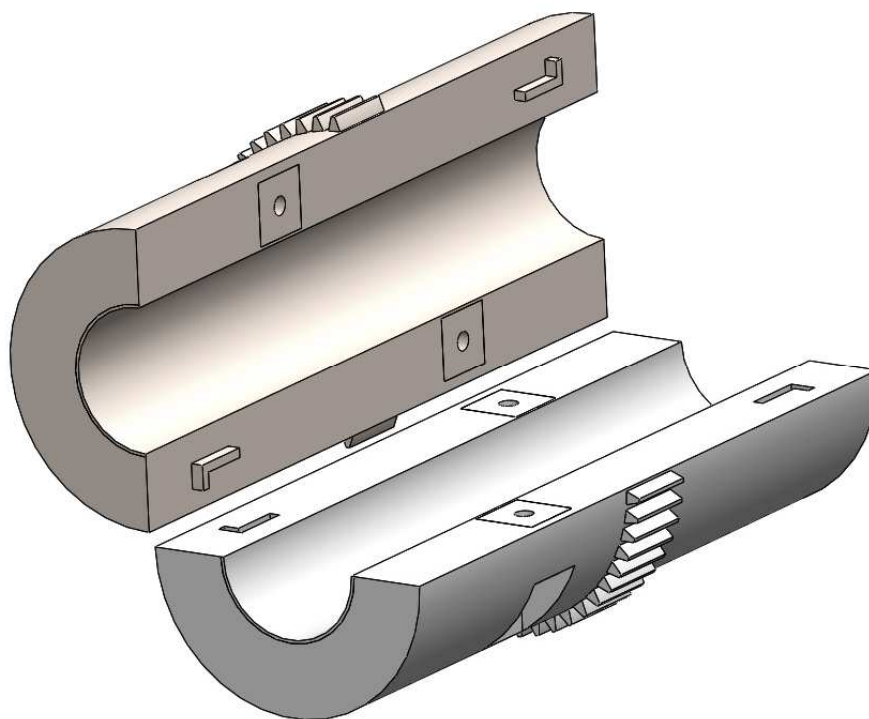
Z důvodu snadné montáže na hřídel volantu je hlavní ozubené kolo dělené. Ozubené kolo má 50 zubů a vnitřní průměr 23 mm. Pro spojení hlavního ozubeného kola mají obě části díry pro zapuštění matice a šroubů. (viz. Obr. 23)



Obr. 23 Hlavní dělené ozubené kolo

Otáčením hřídele volantu se bude otáčet i hlavní ozubené kolo. Toto kolo bude v záběru s menším vedlejším ozubeným kolem, ve kterém bude z každé strany držen připevněný jeden potenciometr.

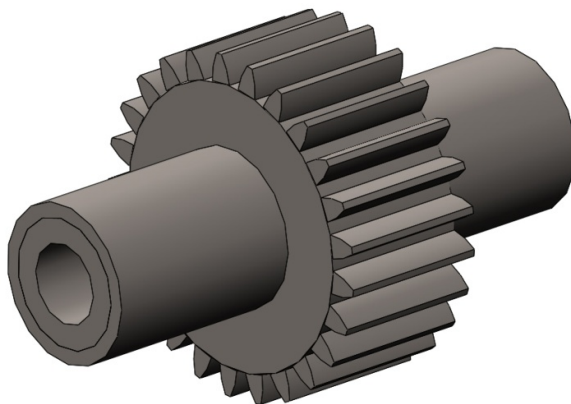
Pro lepší spojení obou částí do jednoho celku má jedna část kola vysunuté zámky ve tvaru L. Druhá část kola má vybrání tvaru L. Zámky v jedné části kola jsou určeny k zacvaknutí do vybrání v druhé části kola. (viz. Obr. 24)



Obr. 24 Zámky na hlavním ozubeném kole

### 4.2.2 Vedlejší ozubené kolo

Další součástí navrhnuté sestavy je vedlejší ozubené kolo. (viz. Obr. 25) Toto ozubené kolo je v záběru s hlavním ozubeným kolem, které se otáčí podle natočení hřídele řízení.



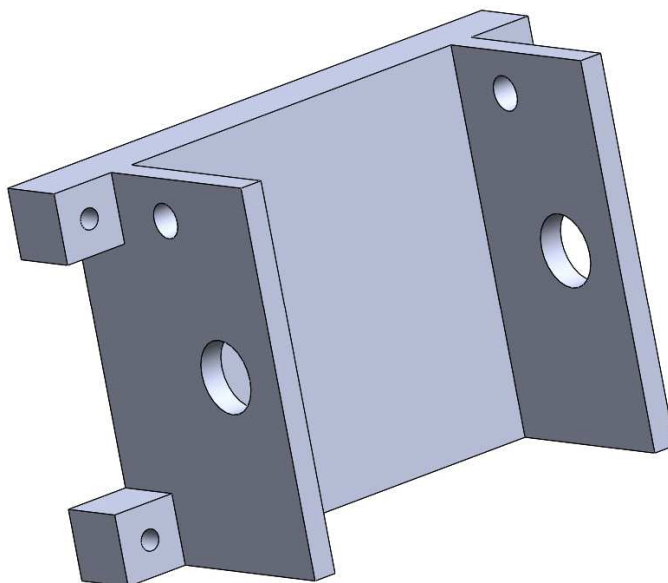
Obr. 25 Vedlejší ozubené kolo

Vedlejší ozubené kolo je součástí malé hřídelky, jejíž vnitřní průměr je upravený tak, aby se do ní z každého konce dal upevnit potenciometr. Vedlejší ozubené kolo má 25 zubů.



### 4.2.3 Držák potenciometrů

Pro uchycení obou potenciometrů a vedlejšího ozubeného kola byl navrhnut jejich držák. (viz. Obr. 26)



Obr. 26 Držák potenciometrů

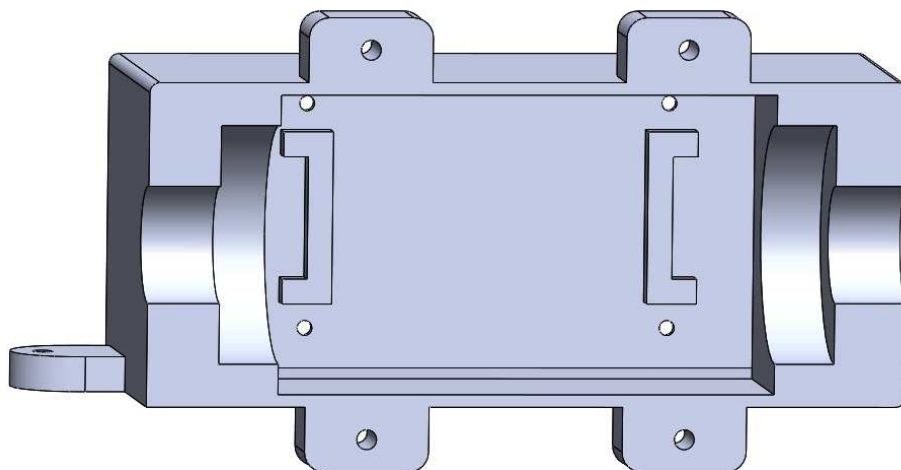
Držák má v sobě díry pro vsunutí potenciometrů. Potenciometry jsou opatřeny závitem a pomocí matice se připevní k držáku. Mezi potenciometry bude vloženo vedlejší ozubené kolo.

V držáku jsou rovněž díry pro bezpečné vedení drátů obalených v bužírce z potenciometru do konektoru. Držák bude připevněný pomocí šroubů k jedné polovině ochranného krytu.

#### 4.2.4 Ochranný kryt

Dvoudílný ochranný kryt k němuž je připevněný držák potenciometrů je spojený šrouby. Kryt slouží jako ochrana před nečistotami a je opatřený úchytnými oky pro dodatečné přichycení celého krytu k pevnému bodu.

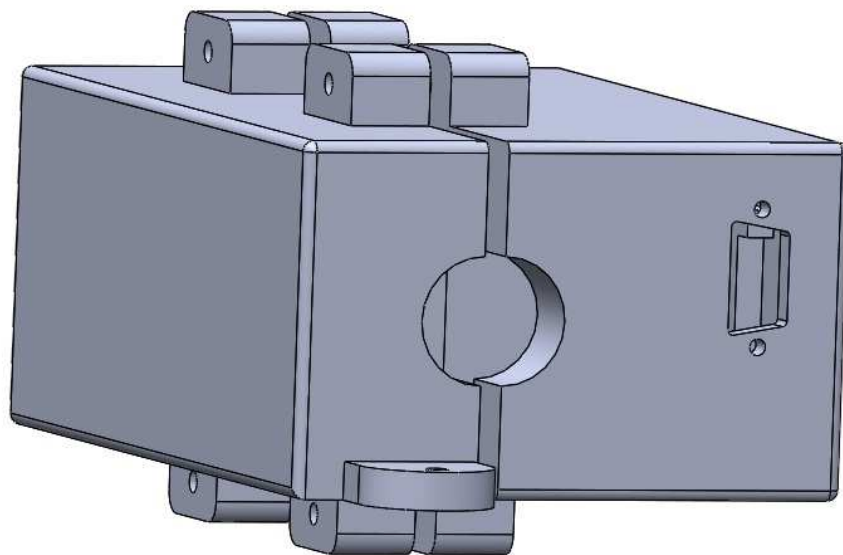
První část krytu (viz. Obr. 27) má v sobě polovinu díry, kterou bude procházet hřídel řízení a vybrání, ve kterém bude uložena jedna část hlavního ozubeného kola. Ozubené kolo se bude ve vybrání protáčet a tím pádem nebude mít tak velkou tendenci otáčet s celým krytem.



Obr. 27 První část krytu

Součástí první části krytu jsou i výstupky pro vymezení polohy držáku potenciometrů a díry pro uchycení držáku šrouby. Dále tato část krytu obsahuje výřez pro přichycení konektoru CANON, do kterého budou vést dráty potenciometrů a díry pro šrouby k jeho uchycení.

Druhá část krytu obsahuje obdobnou polovinu díry pro průchod hřídele řízení a vybrání pro uložení hlavního ozubeného kola. Obě části ochranného krytu přiložené k sobě (viz. Obr. 28) budou spojeny šrouby.

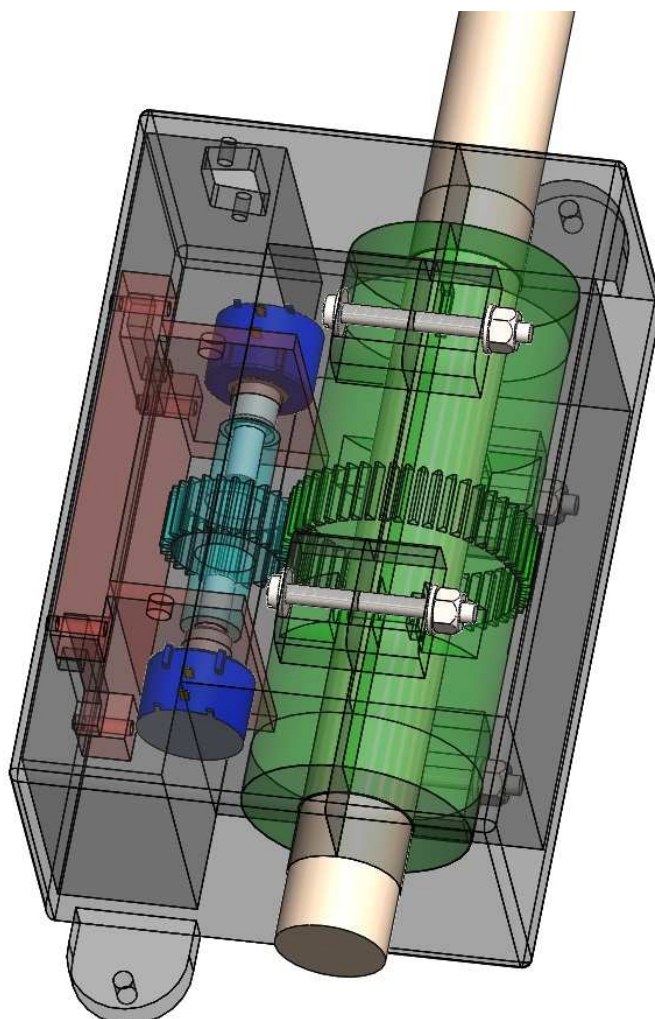


Obr. 28 Obě části krytu přiloženy k sobě

Výkresy všech dílů navrhnuté sestavy jsou součástí přílohy. (viz. Příloha A)

### 4.3 Složená sestava

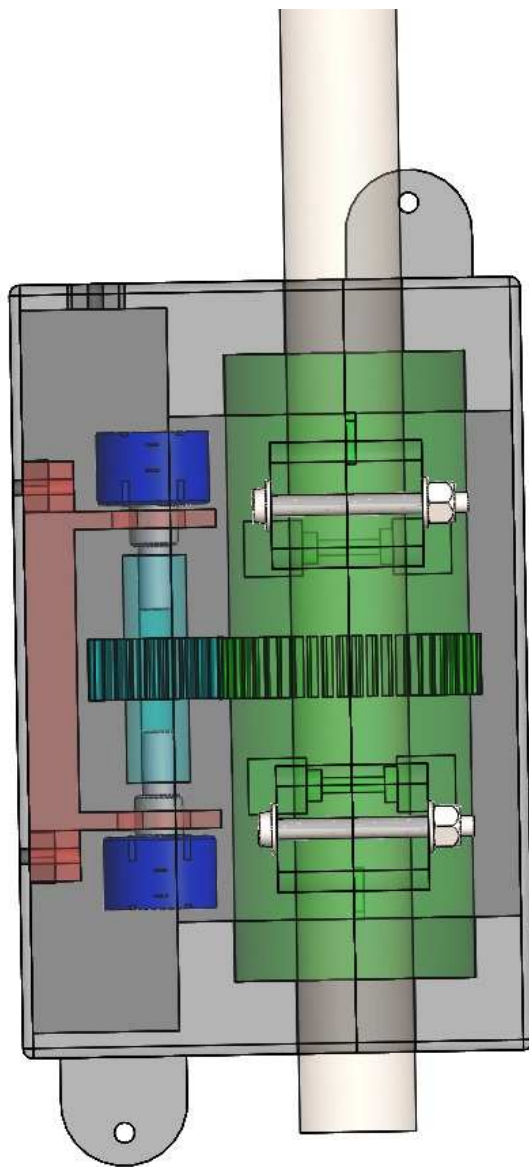
Na následujícím obrázku (viz. Obr. 29) je vidět průhledná navrhnutá sestava složená z výše popsanych komponent obsahující i potenciometry a hřídel řízení.



Obr. 29 Navrhnutá sestava 1

Zelené hlavní dělené kolo je napevno připevněno na hřídeli řízení a je v záběru se světle modrým vedlejším ozubeným kolem. Vedlejší ozubené kolo má v sobě z každé strany nasunutý jeden potenciometr, který bude přichycen k červenému držáku pomocí matice. Držák držící potenciometry bude přišroubovaný k jedné části ochranného krytu.

Na průhledném pohledu shora (viz. Obr. 30) lze vidět obě ozubená kola v záběru a tmavě šedou barvou místa, kde byl z jedné části krytu odebraný materiál z důvodu zmenšení celkové hmotnosti sestavy a pro lepší uchycení konektoru pro dráty potenciometrů.



Obr. 30 Navrhnutá sestava 2

#### 4.4 Úprava vytisknutých dílů

Z důvodu špatného vytisknutí držáku potenciometrů (viz. Obr. 31) bylo potřeba nožem odřezat spodní špatně dotisknutou část držáku a následně ji přilepit na správné místo dvousložkovým tmelem.



Obr. 31 Špatně vytisknutý držák potenciometrů

Obdobným způsobem bylo potřeba upravit také špatně vytisknuté dělené ozubené kolo (viz. Obr. 32). Nejprve bylo potřeba odstranit chybně vytisknutou část, obrousit povrchy a přilepit ji na správné místo.



Obr. 32 Špatně vytisknuté dělené ozubené kolo

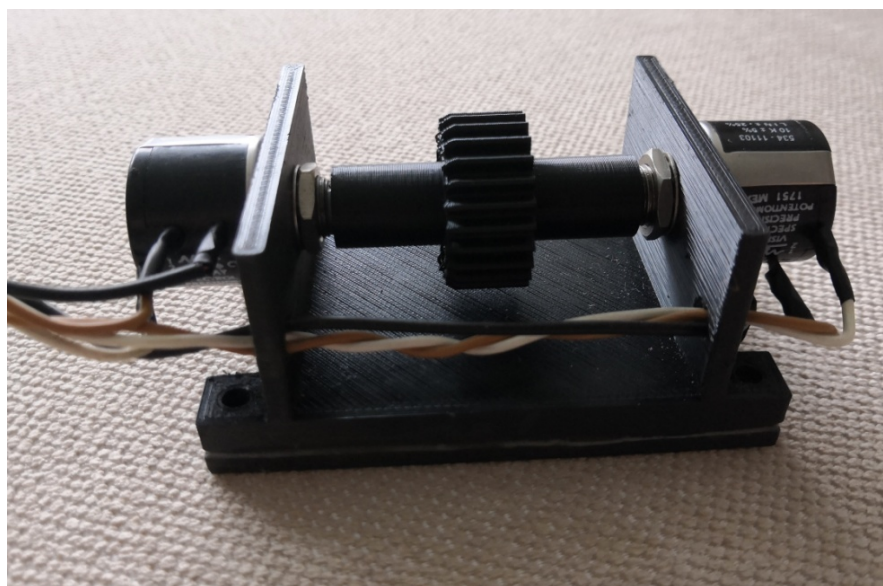
Tisk všech ostatních dílů sestavy proběhl bez chyby. Bylo ale potřeba ze všech dílů odstranit vzniklé třísky pilníkem, které zůstaly po tisku přichyceny na povrchu. Dále bylo potřeba znovu převrtat všechny díry určené pro šrouby a brusným kotoučem dobrousit do hladka místo uložení děleného ozubeného kola v krytu. Nakonec se na vybrání v obou částech krytu použilo mazadlo pro lepší protáčení ozubeného kola.

## 4.5 Montáž vytisknutých dílů

Montáž jednotlivých dílů do celé sestavy se skládá z níže popsaných kroků, jehož součástí je i testovací měření funkčnosti a testovací měření už namontovaného zařízení.

### 4.5.1 Uchycení potenciometrů a ozubeného kola

Jako první postupový krok bylo potřeba uchytit oba potenciometry (viz. Obr. 33) pomocí matice do jejich držáku a mezi ně upevnit nastrčením malou hřídelku s ozubeným kolem. Jeden potenciometr byl upevněn s natočením v maximálním rozsahu, zatímco druhý byl na začátku rozsahu.



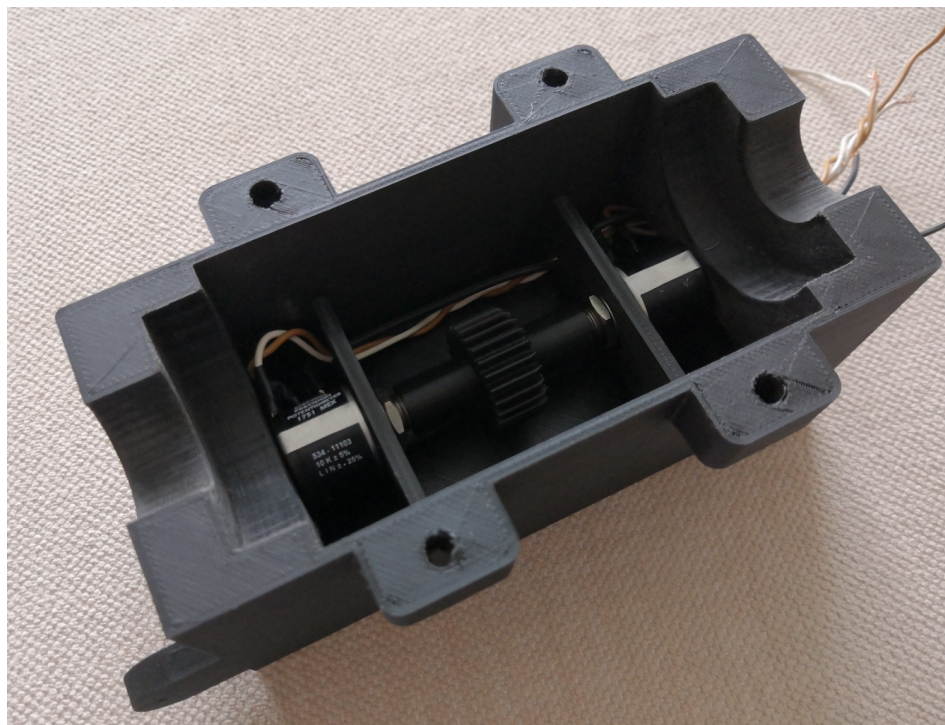
Obr. 33 Držák s ozubeným kolem a potenciometry

Následovalo připojení drátů ke kontaktům obou potenciometrů. Připojené dráty potenciometrů se následně vedly skrz vyvrtanou díru v držáku ke konektoru CANON.



#### 4.5.2 Přichycení držáku ke krytu

Dalším krokem (viz. Obr. 34) bylo vložení držáku s potenciometry a ozubeným kolem mezi výstupky v první části krytu, určenými k vymezení polohy držáku a pomocí šroubů držák přichytit ke krytu.



Obr. 34 Vložení držáku do krytu

Dále bylo potřeba připájet všechny dráty vedoucí z potenciometrů do konektoru CANON a přichytit konektor k jedné části krytu vložím konektoru do výřezu a jeho přišroubováním.

V této fázi proběhlo testovací měření funkčnosti zařízení otáčením obou potenciometrů malým ozubeným kolem.



### 4.5.3 Testovací měření funkčnosti zařízení

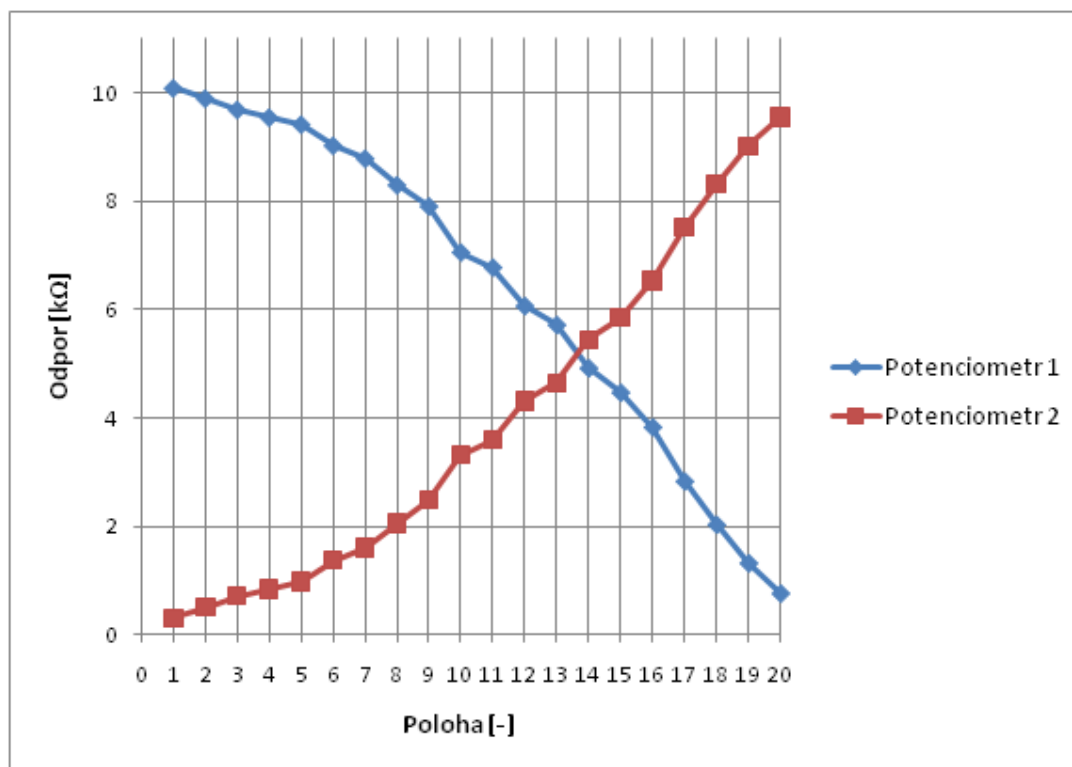
Nejdříve se měřil odpor potenciometrů. Měření probíhalo pootáčením malého ozubeného kola a zaznamenání odporu potenciometrů v dvaceti náhodných pozicích v celém rozsahu pomocí dvou multimetrů. (viz. Obr. 35) Dále byla měřená sestava připojena ke zdroji napětí a pomocí připojeného osciloskopu byla otestována kvalita a plynulost signálu v reálném čase.



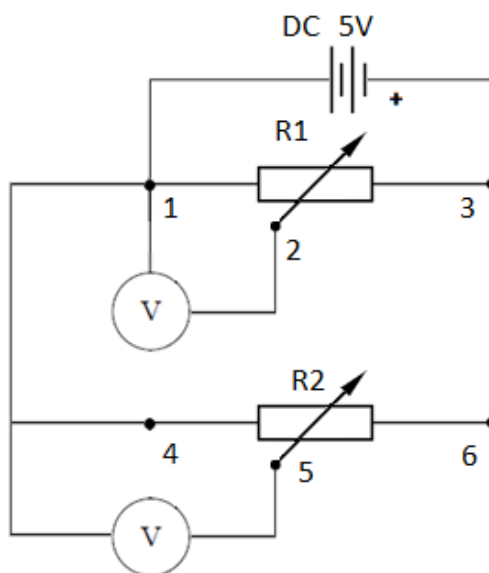
Obr. 35 Testovací měření funkčnosti

Naměřené hodnoty závislosti odporu na poloze byly zaneseny do grafu. (viz. Graf 9)

Graf 9 Závislost odporu na poloze



Z výsledného grafu je vidět závislost obou potenciometrů na poloze. Lze rovněž vidět, že první potenciometr začíná na maximálním rozsahu, zatímco druhý potenciometr byl nastaven na začátek rozsahu. Následovalo připojení stejné měřené sestavy se ke zdroji o 5V podle schématu. (viz. Obr. 36)

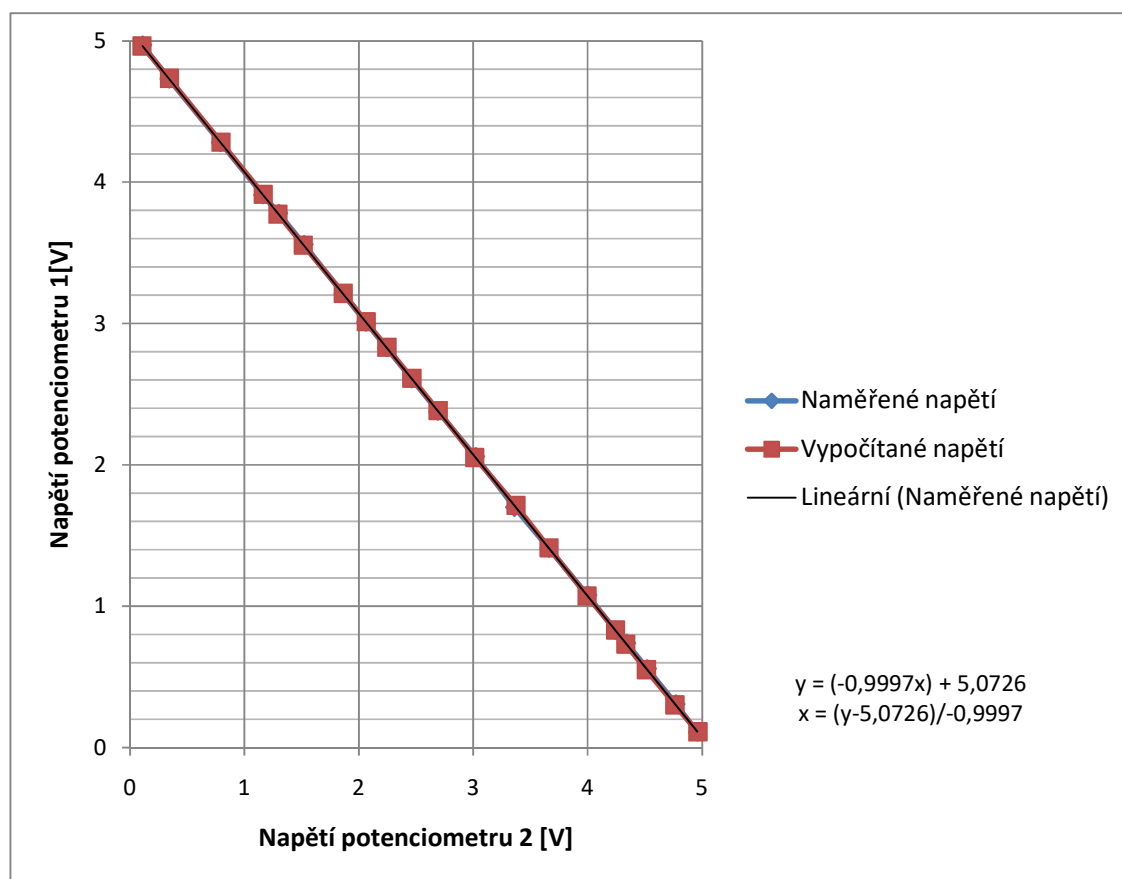


Obr. 36 Schéma zapojení

Napětí se nastavilo na 5V a opět se pootáčením ozubeného kola měřilo napětí v dvaceti náhodných pozicích v celém rozsahu. Z naměřených hodnot byla sestrojena grafická závislost napětí obou potenciometrů (viz. Graf 10) a závislost napětí na poloze. (viz. Graf 11)

Z naměřených napětí obou potenciometrů byla vytvořena rovnice jejich závislosti. Do vytvořené rovnice bylo dosazením naměřených hodnot docíleno vypočítaného napětí, které se zaneslo do stejného grafu.

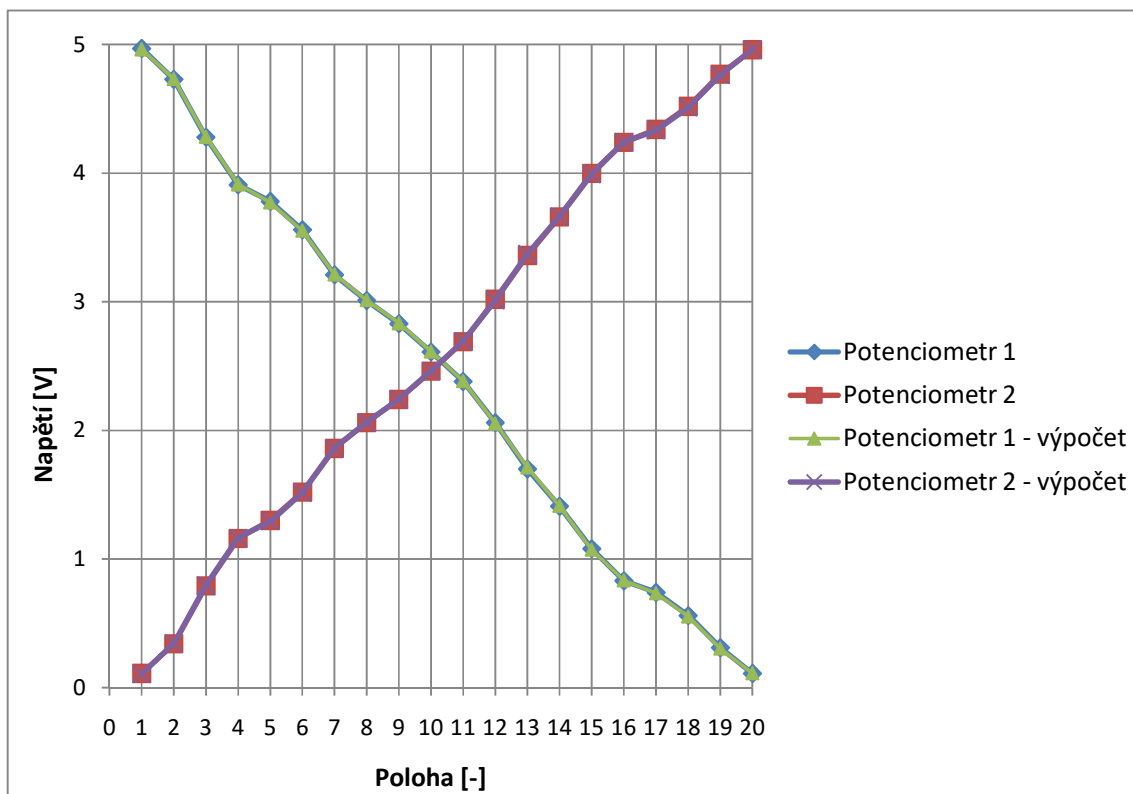
Graf 10 Závislost napětí obou potenciometrů při otáčení kolem



Z grafu lze vyčíst, že se obě závislosti naměřeného a vypočítaného napětí překrývají.

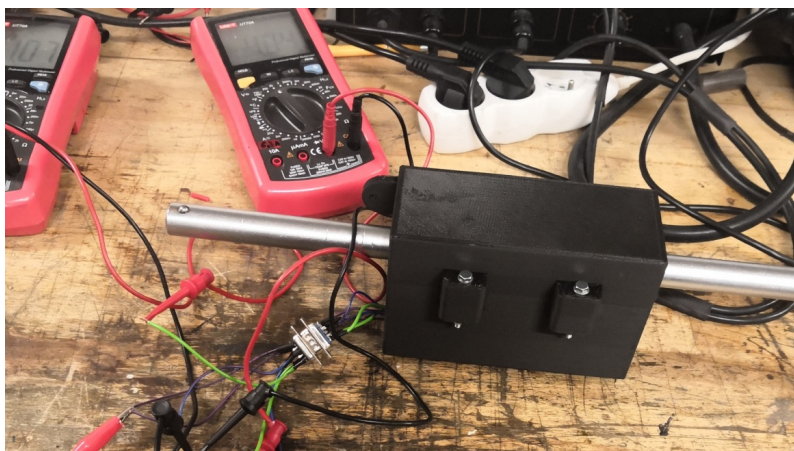
Do sestrojeného grafu závislosti naměřeného napětí na poloze byla rovněž zanesena závislost vypočítaného napětí na poloze.

Graf 11 Závislost napětí na poloze



Ve vytvořeném grafu se naměřené hodnoty rovněž překrývají s vypočítanými hodnotami. To znamená, že potenciometry nevykazují žádnou výraznou chybu. Z naměřených hodnot a sestrojeného grafu lze zjistit maximální odchylka naměřeného a vypočítaného napětí. Tato odchylka činí 0,013 V

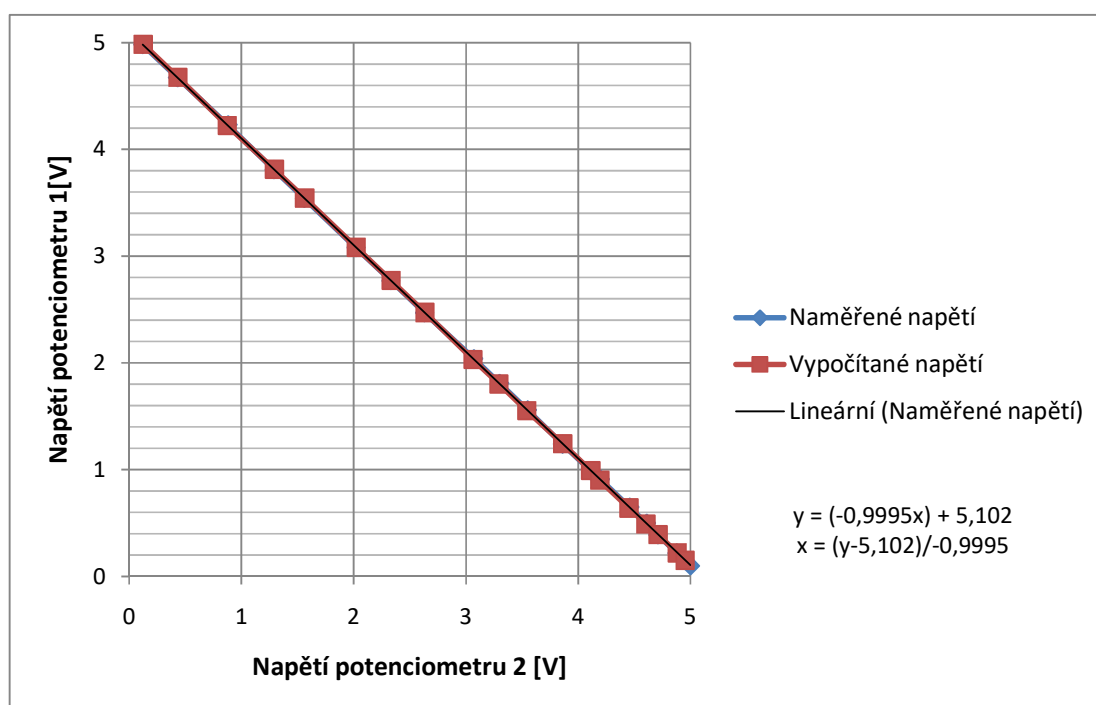
Pro další měření se ještě celá sestava před namontováním na auto uchytila mezi zkušební hřídel a provedlo se opět měření napětí se zdrojem na 5V. Měření probíhalo pootáčením zkušební hřídele (viz. Obr. 37)



Obr. 37 Měření s vloženou hřídelí

Z naměřených dat pootáčením hřídele se sestrojila grafická závislost napětí obou potenciometrů. (viz. Graf 12)

Graf 12 Závislost napětí obou potenciometrů při otáčení hřídelí



Ze všech naměřených dat se výpočtem zjistila závislost jedné otáčky hřídele řízení na počtu otáček potenciometrů. Potenciometry tedy při jedné otáčce volantem vykonají 1,98 otáčky. Hnací dělené ozubené kolo na hřídeli volantu má 50 zubů, hnané malé ozubené kolo má 25 zubů, převodový poměr těchto kol je 0,5. To znamená, že se malé ozubené kolo držící potenciometry otočí dvakrát za jednu otáčku volantem což odpovídá vypočtenému poměru.

V posledním kroku se změnila změna napětí pootočením hřídele o 90°. Měření probíhalo tak, že se hřídel pootočila 90° a zpět na původní polohu, byly zapsány naměřené hodnoty z obou poloh, rozdíl těchto hodnot byl použit jako výsledná naměřená hodnota. Tento postup měření se opakoval 10 krát a z naměřených dat se vypočítala nejistota měření pro určení nepřesnosti měřené sestavy.

*Součet naměřených hodnot*

$$\sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = \underline{2,32 \text{ V}}$$

*Aritmetický průměr naměřených hodnot*

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{2,32}{10} = \underline{0,232 \text{ V}}$$

*Standardní nejistota typu A*

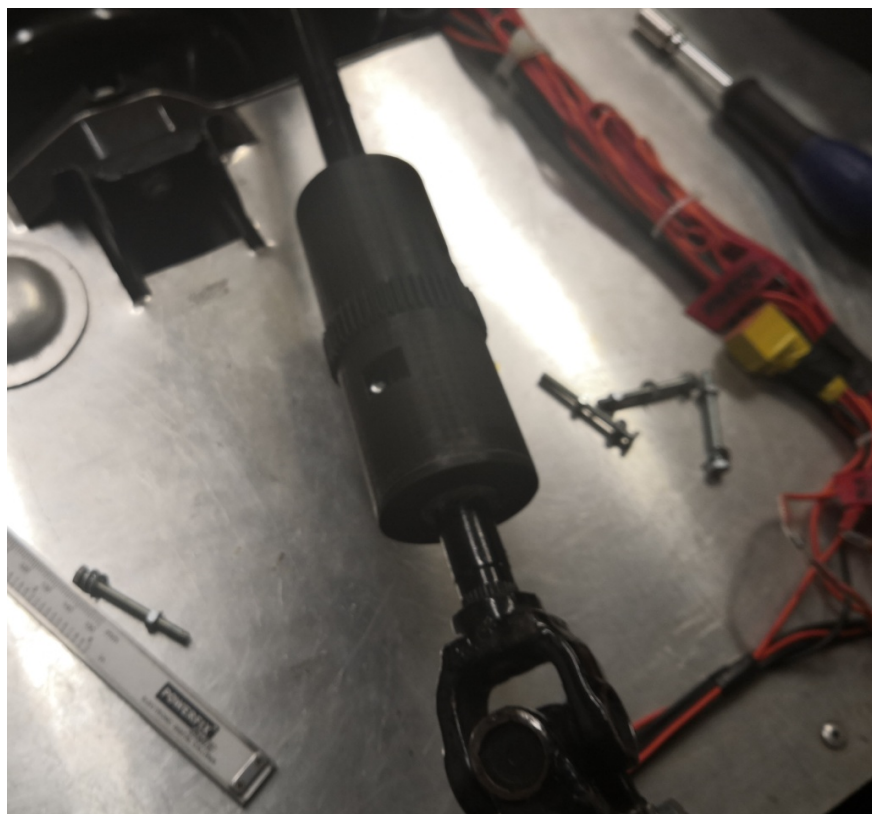
$$U_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (3)$$

$$U_A = \sqrt{\frac{0,00196}{90}} = \underline{0,00466 \text{ V} = 1,8^\circ}$$

Vypočtená nejistota měření při otáčení hřídelí je 0,00466 V což odpovídá 1,8°.

#### 4.5.4 Přichycení děleného ozubeného kola na hřídel volantu

V následujícím kroku bylo potřeba přichytit hlavní dělené ozubené kolo na hřídel volantu prototypového vozidla. (viz. Obr. 38)

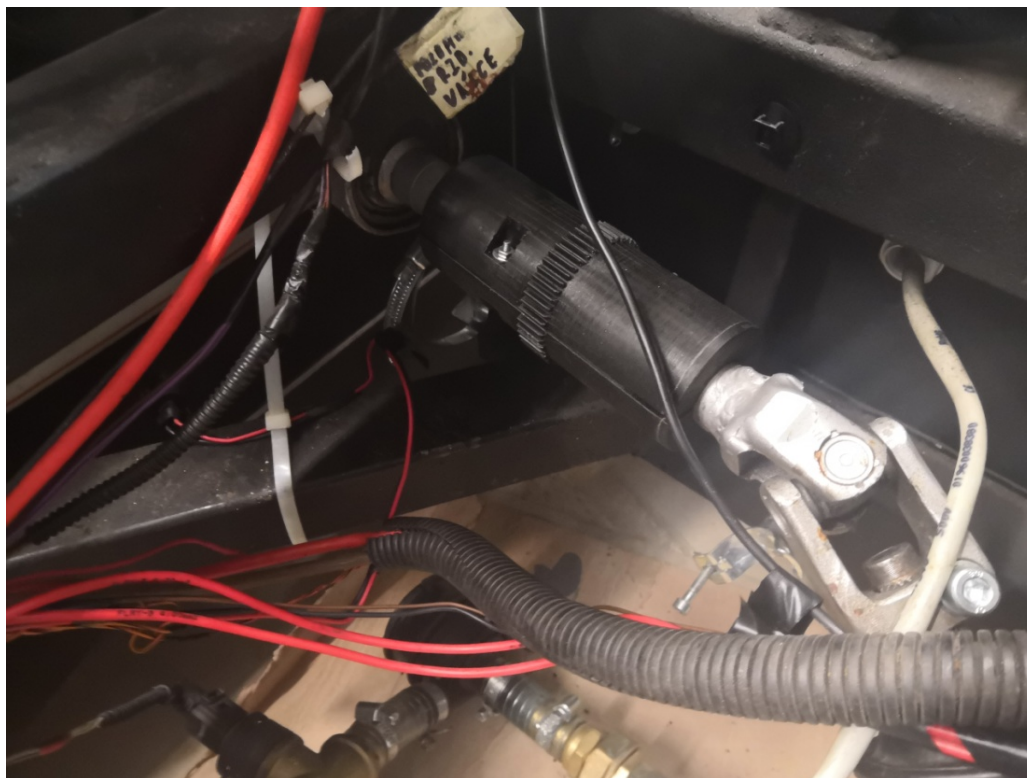


Obr. 38 Dělené ozubené kolo na hřídeli 1

Na hřídeli prototypového auta je dostatečný prostor pro uchycení hlavního děleného ozubeného kola i s rezervním prostorem pro uchycení obou částí ochranného krytu. Navrhnuté snímací zařízení je univerzální. Proto bylo vyzkoušeno namontovat celou sestavu snímače i na druhé prototypové vozidlo. (viz. Obr. 39)



Dělené ozubené kolo šlo na hřídel druhého prototypového vozidla připevnit bez problému, ale z důvodu malého prostoru okolo hřídele a rozšiřujícího se konce hřídele řízení pro následné upevnění obou částí ochranného krytu by bylo potřeba upravit průměr vysunutí v krytu nebo zmenšit délku děleného ozubeného kola.



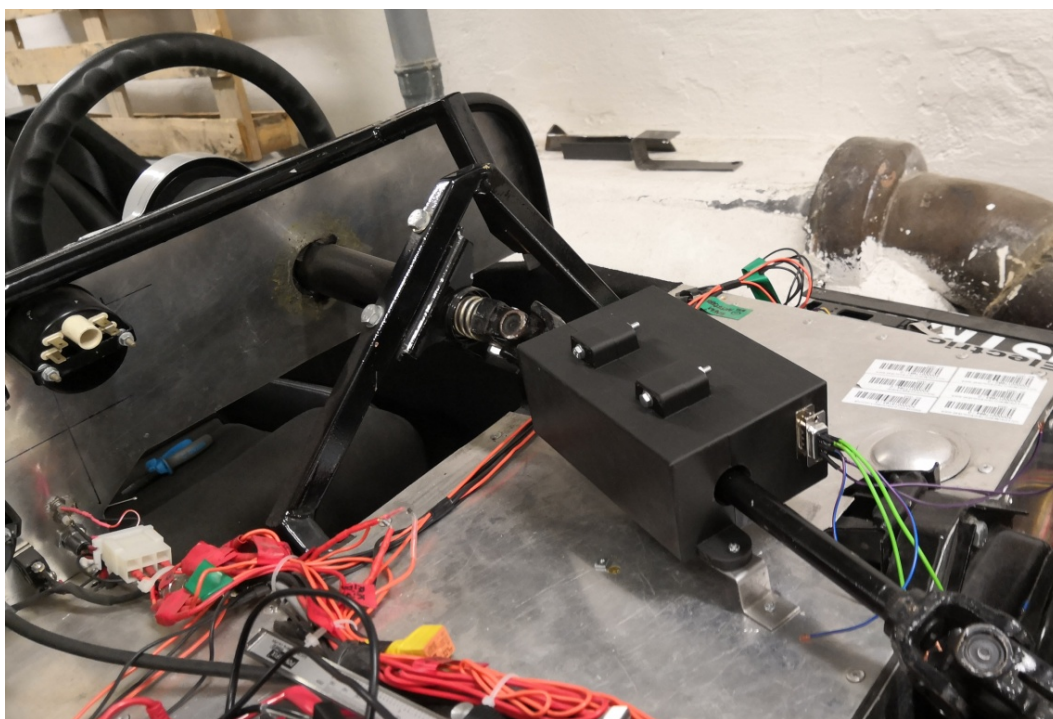
Obr. 39 Dělené ozubené kolo na hřídeli 2



### 4.5.5 Montáž dvoudílného ochranného krytu

V posledním kroku montáže se k hlavnímu dělenému ozubenému kolu pevně připevňenému na hřídeli volantu pomocí šroubů připevnilly obě části krytu. Jedna část nesoucí přišroubovaný držák s potenciometry a nasunutým malým ozubeným kolem i druhá část krytu. (viz. Obr. 40)

Dále bylo potřeba zamezit pohybu šrouby spojeného dvoudílného krytu při otáčení volantem. K tomu byly použity úchytné oka. Každá část krytu má jedno úchytné oko, ke kterému se šroubem přichytil profil z nerezové oceli.



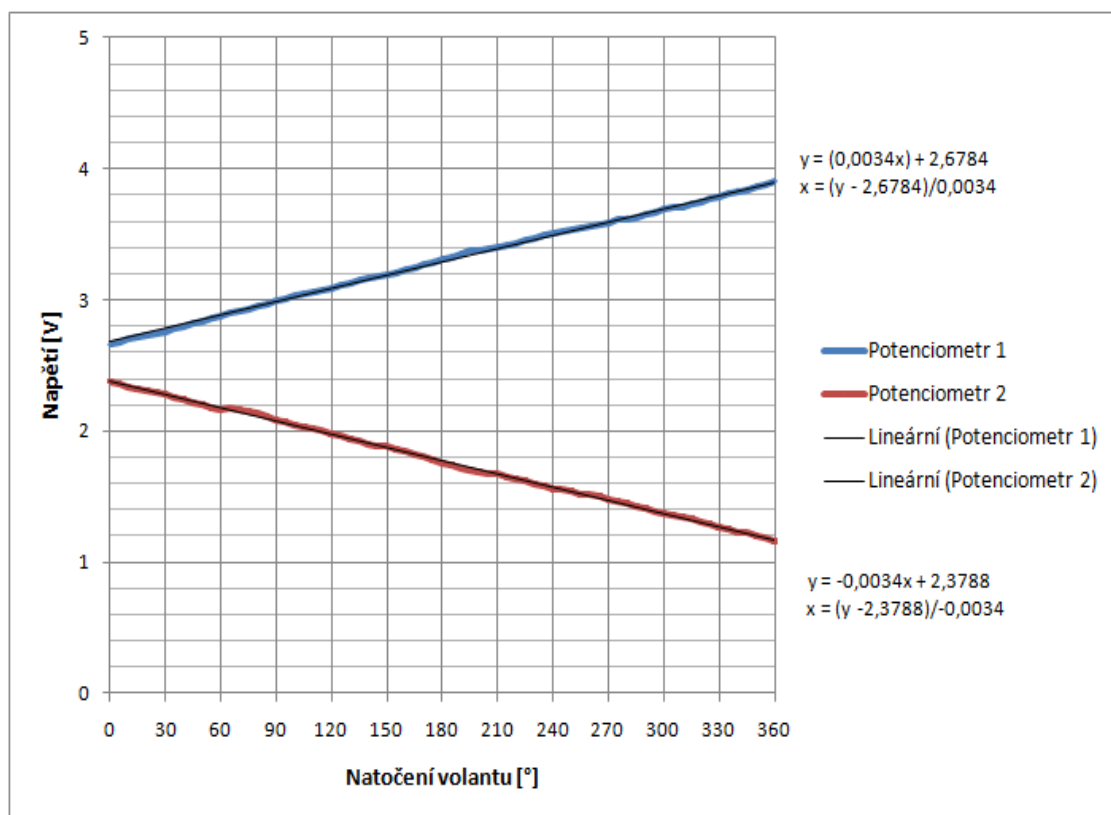
Obr. 40 Navrhnutý snímač namontovaný na hřídeli

Mezi jeden ocelový profil a úchytné oko byl navíc použit malý silentblok, který má za úkol pružit a snižovat rázy vznikající při otáčení hřídele volantu.

#### 4.5.6 Testovací měření namontovaného zařízení

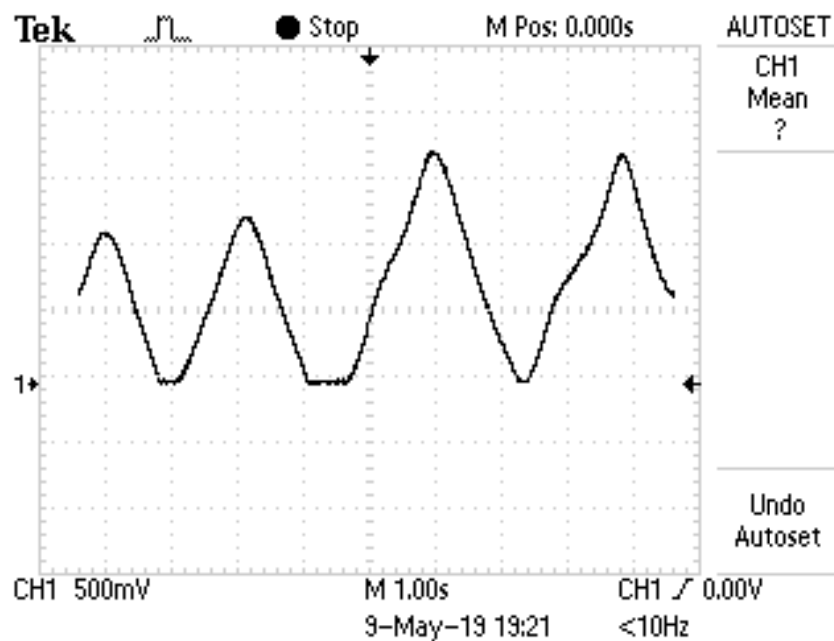
Finální měření navrhnutého zařízení probíhalo po celkové montáži na prototypové vozidlo. Měření probíhalo otáčením volantem v rozsahu jeho jedné otáčky. Navrhnutý snímač byl připojen ke zdroji napětí nastaveném na 5V. Pomocí dvou multimetrů se měřila změna napětí v rozsahu jedné otáčky volantu při jeho otáčení po 5°. Naměřené hodnoty byly zaneseny do grafu. (viz. Graf 13)

Graf 13 Závislost napětí na natočení volantu



Z výše vytvořeného grafu byly vygenerovány rovnice pro závislost napětí na natočení volantu pro oba potenciometry hotového univerzálního snímače. Následovalo zapojení snímače k osciloskopu pro zjištění linearitu signálu snímače při změně natočení volantu a zjištění, zda signál nevykazuje odchylku. (viz. Obr. 41)

Měřená sestava nevykazuje odchylky při různých polohách natočení volantem, kvalita signálu je dostatečná, bez viditelných chyb, které by mohlo způsobit rušení. Zachycený signál v reálném čase je plynulý.



Obr. 41 Signál snímače z osciloskopu

## Závěr

Teoretická část této bakalářské práce se zabývá základními principy, vlastnostmi, konstrukčním řešením a použitím různých typů snímačů pro měření rotačního pohybu jak z obecného hlediska, tak z oblasti snímačů natočení volantu používaných v automobilovém průmyslu a sériově vyráběných automobilech.

Praktická část této práce je rozdělena na dva oddíly. První oddíl se věnuje testovacím měřením na vybraných snímačích rotačního pohybu. Zde se jedná převážně o různé druhy potenciometrických snímačů. Z naměřených hodnot jsou následně vytvořeny grafy zobrazující závislosti odporu nebo napětí na natočení a jejich vyhodnocení.

V druhém oddílu praktické části bakalářské práce je navrženo univerzální řešení pro natočení volantu na prototypová vozidla. Navrhnuté zařízení je po namontování na prototypové vozidlo otestováno měřením a je zjištěna rovnice závislosti napětí potenciometrů na natočení volantu.

Návrh tohoto snímače je zaměřený na nízkou výrobní a pořizovací cenu, snadnou montáž i případnou výměnu některé ze součástí sestavy.

Celá sestava je navržena z dvou plastových ozubených kol, dvoudílného krytu a dvou potenciometrů upevněných v držáku. Zejména kvůli nízké pořizovací ceně byly pro návrh použity právě 2 víceotáčkové potenciometry nasměrované proti sobě a nasunuté v malém ozubeném kole. Jeden potenciometr je nastaven na jeho maximálním rozsahu, zatímco druhý je na jeho začátku, proto se dokážou při otáčení volantem kontrolovat a dá se lehce zjistit případná závada některého z potenciometrů. Větší ozubené kolo je dělené z důvodu snadné montáže na hřídel volantu. Otáčením hřídele a tím pádem i děleného ozubeného kola dochází k záběru mezi děleným a malým ozubeným kolem, které otáčí potenciometry.

Nevýhoda při použití potenciometrů je jejich menší přesnost oproti jiným, ale dražším typům snímačů a menší odolnost opotřebení. Navrhnutý snímač po testovacím měření vykazuje nejistotu měření  $1,8^\circ$ , tato hodnota je v normě oproti přesnějším snímačům.

Jedním z možných vylepšení tohoto návrhu by bylo použití pevnějšího a odolnějšího materiálu pro 3D tisk jednotlivých dílů. Některé navržené díly by se daly odlehčit zkrácením délky dvoudílného krytu o 1cm z každé strany případně by se dalo zkrátit i samotné hlavní dělené ozubené kolo a k němu uzpůsobit rozměry ostatních součástí sestavy.

Další možné vylepšení by bylo použití stabilizátoru nebo měniče stejnosměrného napětí uprostřed krytu, snímač by se tak dal napájet z 12V zástrčky v prototypovém vozidle.

## Seznam použité literatury

- [1] Rotační enkodéry pro řízení pohonů a pohybu. *Automatizace.hw.cz* [online]. ČR: Automatizace.hw.cz, 2017 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rotacni-enkodery-pro-řízení-pohonu-a-pohybu.html>
- [2] ĎAĎO, S. – KREIDL, M. 1996. *Senzory a měřicí obvody*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 315 s. ISBN 80-01-02057-6.
- [3] ZABLER, ERICH, 2003. *Snímače v motorových vozidlech*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství Robert Bosch odbytová, 2003. 148 s. ISBN 80-903132-5-6.
- [4] Přehled snímačů úhlového natočení. *PROFESS* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: [http://www.process.sk/dynamic/produkty/dokument/FSG-Snimace\\_uhloveho\\_natoceni.pdf](http://www.process.sk/dynamic/produkty/dokument/FSG-Snimace_uhloveho_natoceni.pdf)
- [5] Rotační enkodéry. *MEGATRON* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/kategorie/snimace/rotacni-enkodery>
- [6] VLK, František, 2001. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vydání. Brno: Vydavatelství F. Vlk, 2001. 576 s. ISBN 80-239-7064-1.
- [7] Angle Displacement Sensor Potentiometer: Model 8820. *Gernsbach:bister* [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: [https://www.burster.com/fileadmin/user\\_upload/redaktion/Documents/Products/Data-Sheets/Section\\_8/8820\\_EN.pdf](https://www.burster.com/fileadmin/user_upload/redaktion/Documents/Products/Data-Sheets/Section_8/8820_EN.pdf)
- [8] Encoder, angle measurement. *320volt* [online]. [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: <http://320volt.com/en/encoder-kullanimi-aci-olcumu-ve-ccs-c-pic16f628-ornek-uygulama/>
- [9] Capacitive absolute encoders. *CUI INC* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.cui.com/product-spotlight/capacitive-absolute-encoders-amt20-series>

## Seznam obrázků

Obrázek 1:	Indukční snímač
Obrázek 2:	Optoelektrický snímač
Obrázek 3:	Kódový disk pro absolutní a inkrementální snímač
Obrázek 4:	Inkrementální enkodér s hřídelí
Obrázek 5:	Princip rotačního optického enkodéru
Obrázek 6:	Výstupní inkrementální obdélníkový signál enkodéru
Obrázek 7:	Výstupní absolutní obdélníkový signál
Obrázek 8:	Magnetický snímač
Obrázek 9:	Princip odporového snímače natočení
Obrázek 10:	Hallův snímač úhlu natočení volantu
Obrázek 11:	Snímač natočení volantu s AMR prvky
Obrázek 12:	Snímač natočení volantu LWS3
Obrázek 13:	Měřený potenciometrický lankový snímač
Obrázek 14:	Zapojení potenciometrického snímače k napětí
Obrázek 15:	Signál potenciometrického snímače z osciloskopu
Obrázek 16:	Potenciometr se stupnicí a vyznačeným rozsahem
Obrázek 17:	Potenciometr zapojený k osciloskopu
Obrázek 18:	Signál potenciometru z osciloskopu
Obrázek 19:	Měřený potenciometr 3590s-2-1031
Obrázek 20:	Měřený potenciometr s nalepenou stupnicí
Obrázek 21:	Měřené potenciometry VISHAY 534B1103JCB
Obrázek 22:	Hřídel řízení prototypového vozidla
Obrázek 23:	Hlavní dělené ozubené kolo
Obrázek 24:	Zámky na hlavním ozubeném kole

Obrázek 25:	Vedlejší ozubené kolo
Obrázek 26:	Držák potenciometrů
Obrázek 27:	První část krytu
Obrázek 28:	Obě části krytu přiloženy k sobě
Obrázek 29:	Navrhnutá sestava 1
Obrázek 30:	Navrhnutá sestava 2
Obrázek 31:	Špatně vytisknutý držák potenciometrů
Obrázek 32:	Špatně vytisknuté dělené ozubené kolo
Obrázek 33:	Držák s ozubeným kolem a potenciometry
Obrázek 34:	Vložení držáku do krytu
Obrázek 35:	Testovací měření funkčnosti
Obrázek 36:	Schéma zapojení
Obrázek 37:	Měření s vloženou hřídelí
Obrázek 38:	Dělené ozubené kolo na hřídeli 1
Obrázek 39:	Dělené ozubené kolo na hřídeli 2
Obrázek 40:	Navrhnutý snímač namontovaný na hřídeli
Obrázek 41:	Signál snímače z osciloskopu



## Seznam grafů

- Graf 1: Závislost odporu na poloze lanka
- Graf 2: Závislost odporu na natočení
- Graf 3: Závislost odporu na natočení pro jednu otáčku snímače
- Graf 4: Závislost odporu na natočení pro celý rozsah potenciometru
- Graf 5: Závislost odporu na natočení pro jednu otáčku potenciometru A
- Graf 6: Závislost odporu na natočení pro jednu otáčku potenciometru B
- Graf 7: Závislost odporu na natočení pro celý rozsah potenciometru A
- Graf 8: Závislost odporu na natočení pro celý rozsah potenciometru B
- Graf 9: Závislost odporu na poloze
- Graf 10: Závislost napětí obou potenciometrů při otáčení kolem
- Graf 11: Závislost napětí na poloze
- Graf 12: Závislost napětí obou potenciometrů při otáčení hřídelí
- Graf 13: Závislost napětí na natočení volantu

## Seznam příloh

[A] Výkresová dokumentace dílů navrhnuté sestavy

*DS-BC-01 – Držák (formát A4)*

*DS-BC-02 – Kryt - spodní (formát A4)*

*DS-BC-03 – Kryt - vrchní (formát A4)*

*DS-BC-04 – Ozubené kolo 2 (formát A4)*

*DS-BC-05 – Dělené ozubené kolo (formát A4)*